APPUNTI DI ELETTRONICA

VOL. 4

Supplemento al n. 1 di SPERIMENTARE
Sped. in Abb. Postale Gruppo III/70

ENERGIA E POTENZA

STRUTTURA DELL'OPERA

Questo libro è costituito da una raccolta di fogli che trattano ciascuno un solo argomento come risulta dalla intestazione unificata.

L'argomento trattato su ogni singola pagina, viene esaurito nella stessa pagina.

In questo modo si evita che le figure possono trovarsi in pagine diverse da quelle del testo e perciò la lettura viene facilitata.

CARATTERISTICHE

Il libro può essere trasformato in una raccolta di fogli mobili semplicemente staccandoli dal dorso, forandoli opportunamente e raccogliendoli in apposita copertina con anelli che si trova in qualsiasi cartoleria.

Questo sarà opportuno farlo:

1) — qualora il lettore intendesse aggiungere suoi appunti
2) — qualora il lettore volesse inserire dei cartoncini separatori per facilitare la ricerca e per meglio suddividere i capitoli
3) — per inserire eventuali fogli aggiuntivi che nel futuro venissero pubblicati
4) — per poter effettuare confronti di analogie con altri fogli della raccolta.

A questo scopo si segnala che il codice decimale di collocazione, posto accanto alla testata unificata, vuole ottenere lo scopo di permettere l'inserzione di fogli senza interferire sulla struttura stessa della pubblicazione.

Il lettore può dotare di linguette sporgenti con il richiamo del codice ogni foglio relativo ai vari indici.
In questo modo si facilita la ricerca e la consultazione.
Non si è voluto predisporre questo vantaggio in sede redazionale per non rendere troppo costoso ogni volume.

METODO DI SPIEGAZIONE

Si è voluto dare alle figure un valore preponderante usando il testo come ausiliario esplicativo delle stesse.

Questo metodo, che si allontana dall'ortodossia tradizionale, è stato gradito dai lettori della precedente esperienza editoriale (v. introduzione al vol. 1°).

Essi hanno riconosciuto in questo metodo una forza comunicativa notevole e molto più vicina a quella della viva voce dell'insegnante che spiega alla lavagna dialogando con gli allievi.

Vorremmo che il lettore apprezzasse quanto questo metodo abbia richiesto maggior dedizione da parte dell'autore e della Redazione e maggiori costi da parte dell'Editore.

CONTRASSEGNI SULLE PAGINE

I contrassegni riportati sulle pagine in alto a destra hanno il seguente scopo:

nessun contrassegno	pagine sufficienti per coloro che vogliono accontentarsi di una conoscenza superficiale.
una stella ✱	pagine destinate a coloro che desiderano una maggior conoscenza della materia, ma non possono essere trascurate dai lettori delle sole pagine senza contrassegno per quanto riguarda le conclusioni
due stelle ✱✱	pagine destinate solo a coloro che desiderano un maggior approfondimento.

CRITERIO DI NUMERAZIONE DECIMALE DEI FOGLI

A) SUDDIVISIONE

L'opera è suddivisa in	10 sezioni
Ogni sezione è suddivisa in	10 capitoli
Ogni capitolo è suddiviso in	10 paragrafi
Ogni paragrafo è suddiviso in	10 argomenti

B) CODICE DI NUMERAZIONE DELLE PAGINE DI TESTO

Normalmente ogni foglio è individuato da un

codice di quattro cifre
suddivise in due gruppi di due cifre
(due cifre intere e due cifre decimali)

Le due cifre intere sono stampate in corpo maggiore per evitare confusioni → **12.345** ← Una quinta cifra può esistere se si vuole suddividere ulteriormente il soggetto relativa alla cifra precedente

Ogni cifra si riferisce ad una suddivisione del soggetto relativo alla cifra precedente.

C) ESEMPIO: il foglio

Intitolato: "Analisi armonica delle forme d'onda rettangolare" appartiene alla

Codice **10.51** pag. **1**

Sezione **1** del piano dell'opera (Grandezze fondamentali)

Capitolo **10** (Nozioni preliminari)

Paragrafo **10.5** (Analisi delle oscillazioni)

Foglio **10.51** (Onda quadra)

Indicazione della pagina relativa al medesimo numero di codice

CAPITOLO 14

ENERGIA E POTENZA

Fonti di informazione ——

INDICE ANALITICO

Avvertenza

Ricordando il criterio di codificazione espresso in 00.01-2

se l'indicazione è rappresentata con:		significa che la voce cercata è trattata:
una sola cifra	(es.: 1)	nell'intera **sezione** relativa alla cifra indicata
due cifre	(es.: 12)	nell'intero **capitolo** relativo alle cifre indicate
tre cifre	(es.: 13.7)	nell'intero **paragrafo** relativo alle cifre indicate
quattro cifre	(es.: 12.42)	nell'intero **argomento** relativo alle cifre indicate
cinque cifre	(es.: 13.24-1)	nella **pagina** relativa alle cifre indicate

Fonti di informazione

BIBLIOGRAFIA

— LIBRI —

Abbreviazione	Autore	Titolo	Editore
Colombo	G. Colombo	Manuale dell'ingegnere	Hoepli 1947
Mondani	F. Mondani	Elementi di elettronica e di elettrotecnica	Trevisini 1966
Giometti	R. Giometti F. Frascari	Elettrotecnica Elettronica Radiotecnica	Calderini 1973 1974
E.S.T.	Vari	Enciclopedia della Scienza e della Tecnica	Mondadori 1965
EINGE	Vari	Enciclopedia dell'Ingegneria	ISEDI 1972 A Mondadori
Jacobowitz EMS	H. Jacobowitz	Electronics made simple	W.H. Allen London 1965
Terman RE	F.E. Terman	Radio Engineering	McGraw Hill 1947
CPE n° ...	Vari	Corsi Programmati di Elettronica ed Elettrotecnica	Jackson 1980-1981
Asimov C.	Isaac Asimov	Il Collasso dell'Universo	A. Mondadori 1979

— RIVISTE —

Sigla	Titolo	Editore
S.P.	Sperimentare	J.C.E.
SE.	Selezione Radio TV	J.C.E.
E.O.	Elettronica Oggi	Jackson

Paragrafo 14.1

CONCETTO DI ENERGIA

Indice degli argomenti e delle pagine

SIGNIFICATO DI ENERGIA E DELLA SUA MISURA

Abbiamo già detto in 12.71-2 che la carica di 1 coulomb, sotto la tensione di 1 volt possiede l'energia potenziale di 1 joule.
Vediamo ora il significato di questa energia.

Energia
La definizione tradizionale è la seguente: per **energia** si intende **l'attitudine che ha un corpo a compiere un lavoro**, per merito delle varie condizioni in cui esso si può trovare.

Lavoro
Energia e Lavoro hanno dunque la stessa natura dimensionale, a far capire il concetto di lavoro a chi sia digiuno di fisica non è cosa facile.
Aiutiamoci con un esempio.

Supponiamo di avere una gru con la quale si debba sollevare del materiale

Dovrebbe essere intuitivo che, per sollevare un carico, si debba consumare acqua o benzina, a seconda di quale motore si mette in funzione, e che detto consumo dipenda solamente e proporzionalmente
a) dalla entità del carico
b) dall'altezza di sollevamento

Scriveremo perciò che

$$L = F \cdot s$$

e supponiamo che la gru possa essere messa in funzione indifferentemente
— da un motore a benzina
— o da un motore ad acqua.

L'energia consumata, sia essa espressa in termini di
— quantità di benzina consumata nel motore a scoppio, oppure
— quantità di acqua fatta precipitare sulla ruota da una data altezza

deve corrispondere alla stessa
— quantità di joule che è accorsa per effettuare quel sollevamento.

Si tratterà ora di trovare dei termini di riferimento comuni alla caduta di acqua o alla combustione della benzina.

CONCETTO GENERALE DI LAVORO ED ENERGIA. DEFINIZIONE DELLA MISURA

Lavoro

Si compie un lavoro non soltanto quando si devono sollevare degli oggetti, ma ogni volta che si deve esercitare una forza per spostare un oggetto che oppone resistenza a quel movimento o per trasformare una forza di energia in un'altra. Rivediamo sotto un aspetto più generale l'espressione vista alla pagina precedente.

Classificazione fondamentale dell'energia

Abbiamo visto precedentemente la definizione dell'**energia** come **attitudine** che hanno i corpi **a compiere un lavoro** ed ora aggiungeremo:
in funzione del loro stato di quiete o di moto.
Per queste due condizioni classificheremo l'energia nei due seguenti modi.

Energia potenziale

È l'energia dello stato di quiete. È l'energia della massa o della carica elettrica o di altra natura associata ad un livello. Non si deve pensare soltanto alla energia che un corpo possiede quando si trova sollevato da terra e al lavoro che può produrre se lasciato cadere.
Nello stato di energia potenziale si trovano anche la benzina e i combustibili in generale, per il fatto che, se fatti opportunamente bruciare, possono produrre del lavoro.
Anche una batteria carica possiede energia potenziale: infatti essa può produrre lavoro, se opportunamente collegata.

Energia cinetica

È l'energia del movimento.
È l'energia della massa o della carica elettrica o di altra natura associate alla loro velocità.
È l'energia del sasso lanciato per permettere ad esso di proseguire il suo movimento fino al raggiungimento del bersaglio. Questo, per fermare il sasso ne trasformerà l'energia cinetica in calore e in deformazione del bersaglio stesso.
È l'energia dell'elettrone in movimento, e anche quella che mantiene il moto dei pianeti.

MISURA

Come abbiamo visto, l'unità di misura dell'energia o del lavoro è il **joule**, che può essere definito unitariamente come segue:

1 joule	=	**1 newton**	x	**1 metro**
di lavoro		di forza		di spostamento

Per avere un'idea dell'entità del joule diremo che esso corrisponde al lavoro compiuto da un corpo che pesa 0,102 kg. e che cada dall'altezza di 1 m., oppure da 1 kg che cada dall'altezza di 0,102 m. ecc.

ENERGIA DI SOLLEVAMENTO, DI CADUTA E DI QUANTITA' DI BENZINA

Con un esempio si cerca di far capire come l'energia sia un concetto universale, comunque essa venga sviluppata.

Esempio e Dati
Riprendiamo l'esempio visto in 14.11-1 supponendo che siano:
— il carico F = 3 tonn. corrispondente a 3 · 1000 kg. 9,B/8 N/kg. = 29400 N
— l'altezza di sollevamento s = 15 m.

Lavoro di sollevamento
Esso risulta dal prodotto dei dati

$$L = F \cdot s = 29.400 \text{ N} \times 15 \text{ m} = 441.000 \text{ J}$$

Quantità di acqua necessaria proveniente da una data altezza
L'energia netta che serve in termini di caduta d'acqua per effettuare il sollevamento deve essere uguale al lavoro di sollevamento.
Se, per esempio, il motore ad acqua sfrutta acqua che cade dall'altezza S_a = 500 m, dalla relazione precedente resta incognita la spinta in newton necessaria che si ottiene con una congrua quantità di acqua

Dal calcolo risulta che F = 882 N

Essendo 1 N = 0,102 kg = 0,102 litri di acqua, necessiteranno per effettuare quel sollevamento 882 N · 0,102 lt/N = 90 litri.
In realtà per sopperire alle inevitabili e molteplici perdite di energia, ne occorrerà un 10% in più.

Quantità di benzina necessaria
Poichè è accertato sperimentalmente che la combustione di

1 litro di benzina produce $34 \cdot 10^6$ joule,

se vogliamo sapere a quanti litri di benzina corrisponde l'energia necessaria al sollevamento, cioè 441.000 joule, basta effettuare la seguente divisione:

$$441.000 \text{ J} : 34 \cdot 10^6 \text{ J/lt} = 1.3 \cdot 10^{-2} \text{ litri di benzina}$$

cioè 13 cm^3 di benzina.
Così poco, dira qualcuno perplesso e incredulo!
In effetti questo consumo risulterà circa 20 volte maggiore dato il basso rendimento dei motori a scoppio in generale, e dati gli attriti che si devono vincere all'argano e alle carrucole.

Raccomandazioni
Vi prego di credere che la conoscenza precisa del concetto di energia è estremamente importante e vi aiuterà a comprendere con facilità la maggior parte dei circuiti e dei fenomeni che riguardano l'elettronica.

TABELLE COMPARATIVE

Mentre da una parte esprimiamo in termini di joule l'energia prodotta da varie fonti, dall'altra riconduciamo in termini di joule l'energia espressa o misurata in altri modi.

Quantità di energia prodotta da varie fonti

La seguente tabella ci mette in grado di renderci conto delle dimensioni del joule e della quantità di energia che le varie fonti producono.

Bruciando le seguenti sostanze	si produce calore in Joule	cioè joule	Per produrre l'energia di 1 joule è necessario bruciare le seguenti quantità di sostanze
1 kg di legno	18.800.000	$1.88 \cdot 10^7$	53 milligrammi di legno
1 m^3 di gas cucina	16.700.000	$1.67 \cdot 10^7$	60 mm^3 di gas di cucina
1 lt di benzina	34.000.000	$3.4 \cdot 10^7$	29 mm^3 di benzina
1 lt di alcool	20.000.000	$2.0 \cdot 10^7$	50 mm^3 di alcool
1 m^3 di acetilene	58.000.000	$5.8 \cdot 10^7$	17 mm^3 di acetilene

Per eseguire la seguente operazione	Occorre assorbire la seguente energia in joule	Con l'assorbimento di 1 joule di energia si effettuano le seguenti operazioni
Riscaldare di 1°C 1 kg di acqua	4.184	Si alza di 1°C 239 milligrammi di acqua
Riscaldare di 1°C 1 m^3 di aria	1.000	Si alza di 1°C 1 litro di aria
Fare evaporare 1 kg di acqua	2.250.000	Si fa evaporare 0,44 milligrammi di acqua
Tenere accesa una lampadina da 40 W per 1 ora	144.000	Si tiene accesa una lampadina da 40 W per 25 millesimi di secondo

Equivalenze

Definizione in termini di joule di altre unità di misura

Energia espressa in	Energia corrispondente in joule	tecnica di impiego	Definizione: energia necessaria per
1 chilogrammetro	9,8	meccanica	sollevare di 1 m il peso di 1 kg
1 caloria	4184.-	termodinam.	alzare di 1°C 1 kg di acqua
1 chilowattora	3.600.000	elettrotecnica	1 ora di funzionamento di un apparecchio della potenza di 1 kW
1 elettronvolt	$1,6 \cdot 10^{-19}$	fisica atomica	spostare all'infinito un elettrone sotto tensione di 1 volt.
1 erg	10^{-7}	chimica fisica	spingere 2 gr. di materia fino alla velocità di 1 cm/sec.
1 kg. di materia	$8,99 \cdot 10^{16}$	fisica nucleare	energia prodotta dalla disintegrazione di un kg. di materia (2).

(1) Fra 1 elettronvolt e 1 joule esiste lo stesso rapporto che si ha fra la carica di 1 elettrone e la carica di 1 coulomb. Infatti 1 joule è l'energia che occorre per portare all'infinito 1 coulomb sotto tensione di 1 volt (1 elettrone $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ coulomb)

(2) Deriva dalla relazione di Einstein.

$$E = mc^2$$

E: Energia prodotta dalla disintegrazione della materia (in joule)

m: quantità di materia disintegrata pari a 1 kg

c^2: velocità della luce al quadrato $= (2.999 \cdot 10^8 \text{ m/sec})^2 = 9/99 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{sec}^2$

ENERGIA CINETICA

Si descrive come un corpo possa possedere energia anche per il fatto che esso sia in movimento e si stabilisce in che relazione l'energia si trova con la velocità.

Concetto di energia cinetica

Un corpo può possedere energia non solo a causa della sua posizione geodetica, cioè altezza dal suolo (o da un altro punto di riferimento) per le sue possibilità di trasformarsi emettendo energia termica o atomica, ma anche per i due seguenti fatti combinati:

a) di trovarsi in movimento e quindi di possedere velocità
b) di possedere una massa.

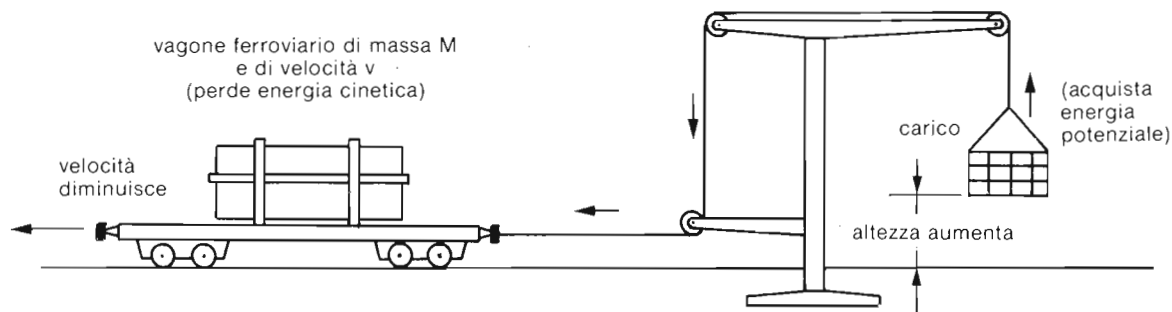
Infatti lanciare un oggetto significa modificare nella sua massa un fattore della sua energia di movimento: la velocità.

L'energia può modificarsi in altri tipi, ma non si può distruggere

L'energia cinetica, e quindi anche la velocità di un corpo in movimento, può mantenersi indefinitamente, se essa non venisse dispersa sottoforma di altre energie irrecuperabili come il calore che si produce attraverso l'attrito con l'aria, l'urto col suolo, ecc.

I pianeti che non hanno problemi di attriti, mantengono da epoca immemorabile l'energia cinetica che è stata loro impressa e continueranno a mantenerla se altro non succederà a modificarla.

Trasformazione di energia cinetica in energia potenziale e viceversa

Che un corpo in movimento possegga energia dello stesso tipo di quella potenziale fin qui esaminata lo possiamo dimostrare con un esempio su cui nessuno dovrebbe avere dubbi.

Un vagone ferroviario, lanciato senza attriti su un binario, è capace di sollevare un carico, scambiando la propria energia cinetica, che diminuisce, ma mano che fa assumere al carico energia potenziale.

La posizione di riposo si avrà quando tutta l'energia cinetica sarà trasferita al carico sotto forma potenziale. In quell'istante tutto il sistema sarà fermo e il carico si troverà nella posizione più alta che l'energia cinetica iniziale del vagone in movimento gli poteva consentire.

Espressioni

UN ESEMPIO DI TRASFORMAZIONE REVERSIBILE DELL'ENERGIA

Perdonateci se insistiamo ancora: ci sembra un concetto molto importante. Se vi annoiate, potete anche saltare queste pagine, ma non lamentatevi nel futuro se brancolerete nel buio.

Esempio numerico di energia cinetica

Tanto per farci un'idea dimensionale dell'energia cinetica, calcoliamo quanta energia cinetica è immagazzinata in un'automobile che corra in folle, per sola inerzia, alla velocità di 100 km/h.

Dati del problema

m = massa: supponiamo 1 ton=1000 kg.
v = velocità: supponiamo 100 km/h che devono essere trasformati in equivalenti m/sec:
cioè 100 km/h·1000 m/km: 3600 sec/h = 27,7 m/sec.

Il valore in joule dell'energia cinetica sarà

$$E_c = \frac{1}{2}\, mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1000\ \text{kg} : (27{,}7\ \text{m/sec})^2 = 383.645\ \text{J}$$

Ricerca dei fattori dell'energia potenziale che corrispondono alla energia cinetica calcolata

Si tratta, in altre parole, di determinare a quale altezza arriverà quell'automobile, se improvvisamente la strada diventasse estremamente ripida.

In quel momento la stessa energia cinetica si sarà interamente trasformata in energia potenziale. $E_p = E_c$

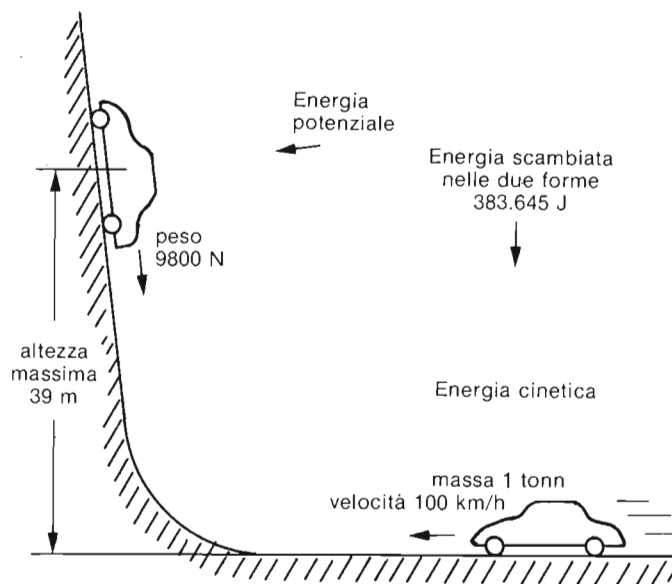
Risolvendo l'espressione dell'energia cinetica (14.13—1) rispetto all'incognita altezza s avremo.

$$S = \frac{E_p}{F}$$

altezza raggiunta (in m) — energia cinetica che si è trasformata in energia potenziale (in joule)

Forza (in newton) corrispondente al peso dell'automobile = 1000 kg · 9,8 N/kg = 9800 N

perciò

$$\frac{E_p}{F} = \frac{383.645\ \text{J}}{9800\ \text{N}} = 39\ \text{metri}$$

(l'altezza di una casa di 12 piani!)

Ammonimento

Un bell'oggetto di meditazione per certi idioti del volante, che per fortuna non possono trovarsi fra i lettori di questi appunti!

E non si consolino quelli, pensando che, "tanto, di strade così ripide non ce ne sono", perché quell'altezza verrebbe raggiunta anche su strada comunque inclinata o comunque essi venissero proiettati nello spazio. Non si illudano nemmeno sulla collaborazione degli attriti, perchè al massimo risparmieranno due o tre piani.

Se poi costoro soffrissero di vertigini, potrebbero al massimo sperare nell'ostacolo che ha creato la proiezione, assorbendo nell'urto gran parte della energia. Ma non credo che in questo caso saranno più in grado di rendersi conto di ciò che sta succedendo.

E come ultima delusione: l'altezza raggiunta non dipende dalla massa dell'auto, come si potrebbe constatare facilmente.

SFRUTTAMENTO DELL'ENERGIA CINETICA PRESENTE IN NATURA

Fonti

Fra le fonti di energia cinetica presenti in natura ricordiamo:
— quella del vento
— quella dei fiumi
... e quella dei pianeti!

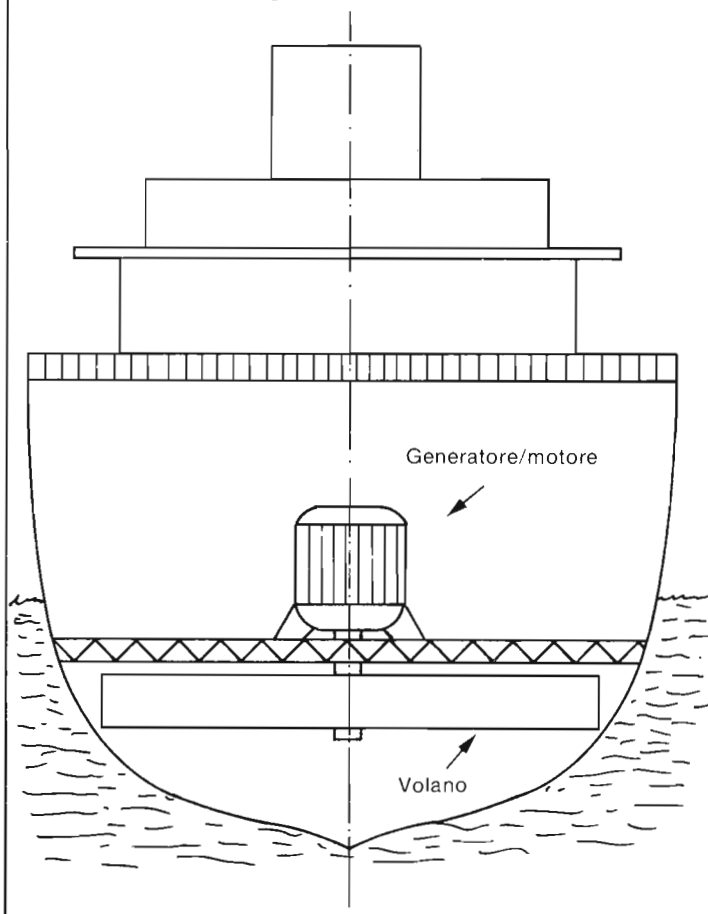
Sfruttamento

È impensabile di sfruttare l'energia dei pianeti in movimento: queste masse enormi spinte a velocità ... astronomiche!
Non sapremmo come imbrigliarli per far loro trainare o sollevare carichi sulla terra. In ogni caso la loro velocità di rivoluzione diminuirebbe ... la loro orbita si avvicinerebbe alla terra ... e correremmo il rischio di trovarceli addosso!

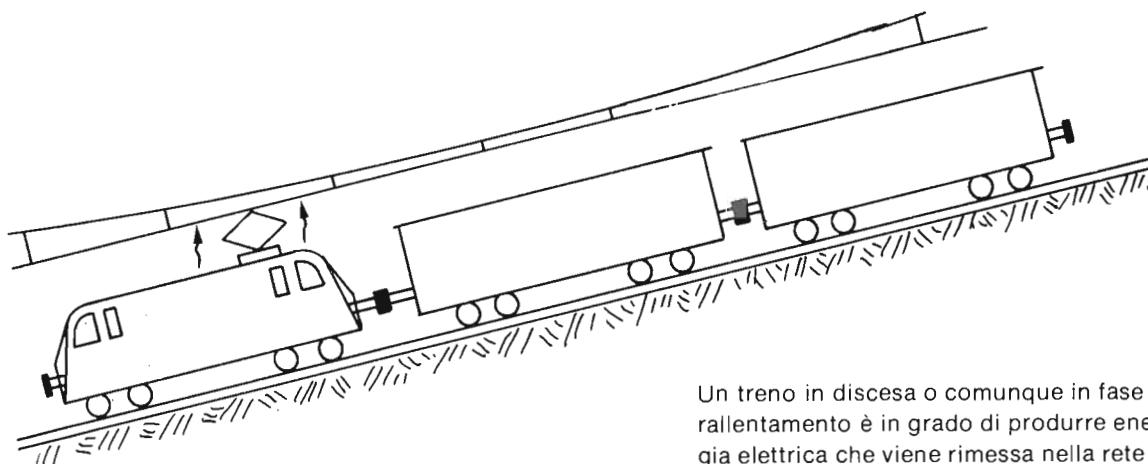
I mulini a vento invece sono il più bell'esempio di sfruttamento dell'energia cinetica.

Anche le centrali elettriche fluviali costituiscono un altro esempio, sebbene sia necessario prima con una diga di sbarramento trasformare l'energia cinetica dell'acqua in energia potenziale e questa di nuovo in cinetica nel momento in cui aziona la turbina.

TENTATIVI DI ACCUMULO DI ENERGIA SOTTOFORMA CINETICA

Nel passato si era tentato di sfruttare l'accumulo di energia cinetica per i mezzi di locomozione delle navi. Si pensava infatti di dotare la nave di un grosso volano alloggiato in fondo alla stiva e collegato meccanicamente ad un generatore/motore elettrico.

Per chi volesse appagare la propria curiosità diamo qui una sommaria spiegazione del funzionamento.
Il generatore, funzionando da motore collegato alla rete di alimentazione nel porto, mette in rotazione veloce il pesantissimo volano, accumulandovi così notevole energia cinetica.
Questa energia viene sfruttata in navigazione per fornire di energia elettrica la nave attraverso il generatore che è mantenuto in rotazione dal volano.
Le eliche in particolare saranno comandate da appositi motori elettrici.
Opportuni regolatori di tensione provvederanno a compensarne l'abbassamento man mano che il volano perde velocità.
Le quantità di energia sono notevoli ma comunque non sufficienti ad effettuare lunghi percorsi.
Perciò l'uso di queste navi sarebbe stato destinato al traghetto, ma comunque il peso e l'ingombro dei volani necessari allo scopo non hanno dato successo alla iniziativa.

Recupero dell'energia cinetica

La trasformazione dell'energia sotto forma cinetica è la caratteristica fondamentale delle apparecchiature destinate al trasporto in generale.
Un mezzo di trasporto in quanto è in movimento è carico di energia cinetica.
Il modo più corrente di fermarlo è quello di trasformare questa sua energia cinetica in energia termica (calore) attraverso i freni.
Per rimettere in moto il mezzo bisogna consumare ancora nuova energia: ecco perchè in città il consumo di benzina nell'automobile è maggiore rispetto ai lunghi percorsi, oltre al fatto che il motore deve essere mantenuto in moto anche quando la macchina è ferma al semaforo rosso.
In discesa non c'è altro modo di smaltire l'energia accumulata in salita che trasformarla in calore attraverso i freni o attraverso il motore stesso che funge da freno quando non si preme l'accelleratore.
I mezzi a trazione elettrica invece possono rallentare il loro moto trasformando i motori in generatori, i quali a spese della energia cinetica alimentano di ritorno la linea alleggerendo la centrale di alimentazione di altrettanta energia, che non viene erogata.
É un modo molto efficace per economizzare energia.

Un treno in discesa o comunque in fase di rallentamento è in grado di produrre energia elettrica che viene rimessa nella rete di alimentazione.

Scambio fra energia cinetica e potenziale

L'energia cinetica invece è largamente sfruttata in meccanica, come in elettrotecnica e nell'elettronica in generale, o per mantenere movimenti durante un breve intervallo di tempo (volano) o per creare quelle oscillazioni costituite da uno scambio continuo fra energia cinetica e potenziale (pendolo, circuito oscillante, circuito reattivo).
Abbiamo visto (13.4) come, a regime alternato di energia elettrica, il condensatore scambia energia con l'alimentatore accumulandola ritmicamente sottoforma potenziale, mentre l'induttore la accumula altrettanto ritmicamente sottoforma cinetica.
Esempi di accumulatori di energia.

Cinetica	Potenziale
In meccanica: il volano (nei motori a scoppio, a combustione, a vapore, ecc.)	in meccanica: i serbatoi in quota, contrappesi, molle, ecc.
in elettrotecnica: l'induttore (13.3)	in elettrotecnica: il condensatore (13.2)

DISPERSIONE DELL'ENERGIA

L'energia non si produce: essa esiste in natura e si trasforma fino ad un livello irrecuperabile: il calore alle più basse temperature.

Energia, Vita e Progresso

La vita stessa e tutto ciò che noi facciamo si risolvono unicamente nella trasformazione di tutta l'energia che la Natura ci mette a disposizione.
Attraverso innumerevoli trasformazioni noi mettiamo l'energia a nostra disposizione sotto forma cinetica o potenziale, di tipo elettrico, meccanico, chimico, idraulico ecc.

Lo stadio più degradato dell'energia è il calore

Durante le trasformazioni della vita, del progresso e della natura, parte dall'energia si trasforma irrimediabilmente in calore.
Il calore prodotto da un organismo deve essere ceduto all'atmosfera se si vuole evitare che si surriscaldi mettendosi nelle condizioni di non poter più vivere.
Un motore elettrico per funzionare si riscalda: questo calore deve essere asportato e ceduto all'atmosfera se si vuole evitare che si raggiungano temperature che brucino il materiale isolante.
L'energia cinetica di un veicolo in movimento deve essere trasformata in calore attraverso i freni se si vuole che il veicolo si arresti entro intervalli di tempo e di spazio voluti.
Se un transistore si scalda troppo, si guasta: per mantenere la temperatura entro limiti accettabili bisogna asportare il calore prodotto attraverso vari accorgimenti.
Questo calore così inutilizzabile, viene trasferito all'atmosfera, che si riscalda e lo trasferisce allo spazio cosmico, il quale pure aumenta di temperatura, senza avere più niente a cui trasferire ancora questo calore.
Perciò il calore che, degradandosi, raggiunge la temperatura del cosmo è irrecuperabile.

L'energia non è illimitata

L'energia in sé è utilizzabile
a) nella misura in cui essa esiste in natura allo stato potenziale (combustibili, materia disintegrabile, materia a livelli geodetici diversi, ecc.) o allo stato cinetico (radiazioni solari e cosmiche, corpi in movimento ecc).
b) nella misura in cui sia possibile farla "scorrere" da un livello energetico più alto, ad un livello più basso (ad es.: temperatura, altezza geodetica, pressione, livello, potenziale elettrico ecc.).
I motivi che porteranno alla cessazione dell'esistenza dell'universo sono perciò due:
a) l'esaurimento delle fonti di energia
b) l'impossibilità di portare l'energia ad un potenziale superiore a quello raggiunto dall'universo.
Sono notizie preoccupanti.
Per quanto concerne il sole, niente paura: esso è destinato a durare parecchi miliardi di anni.
Per quanto concerne le fonti di energia che esistono nella terra invece c'è veramente da preoccuparsi. Gli scienziati continuano a dare l'allarme ai politicanti, ma questi non li possono ascoltare così intenti come sono a guardarsi in cagnesco sperperando inutilmente ingenti quantità di energia ... nel nome dell'avvenire dei nostri figli!

Esempi

Facciamo seguire alcuni esempi per mostrare come tutte le trasformazioni di energia finiscono per trasformarsi in calore.

Una bella gita in auto

Ci si domanda: dove sia andata a finire energeticamente tutta la benzina che abbiamo consumato.
Risposta: a scaldare l'aria nello spostarla e per smaltire il calore generato dal motore e dai freni, inoltre nel consumare il motore gli organi meccanici, i freni e le gomme.

Il lancio di un sasso

L'energia cinetica che abbiamo conferito al sasso nel lanciarlo ad es. in alto, si trasforma interamente in energia potenziale alla massima altezza raggiunta. Già quando sta per caderci sulla testa non ha ripreso, come dovrebbe, di nuovo tutta l'energia cinetica, perchè parte è stata già spesa sotto forma di calore per l'attrito con l'aria. Se ci scansiamo, esso cadrà al suolo e dopo qualche salto dovuto a fenomeni di elasticità, esso si fermerà quando avrà trasformato interamente in calore tutta l'energia cinetica che gli avevamo conferita con il lancio.

TRASFORMAZIONI DELL'ENERGIA E PERDITE

Finchè una certa energia non si è completamente degradata in calore alla più bassa temperatura è sempre possibile trasformarla in energia di altro tipo.
Non dimentichiamo però che ogni trasformazione non può avvenire con rendimento (14.32-1) del 100% perchè una parte dell'energia primaria si trasforma in calore che viene ceduto all'atmosfera e da questa al cosmo.

Esempio di trasformazione	Dove si verificano le corrispondenti perdite di trasformazione
Si brucia del combustibile in una caldaia (trasformazione termo-chimica), si scalda dell'acqua che si trasforma in vapore sotto pressione (trasformazione termica).	Il camino è fonte di notevoli perdite di energia termica (il fumo è molto caldo). Anche dalle pareti della caldaia il calore sfugge, malgrado ogni miglioramento che si porta all'isolamento termico.
Il vapore viene immesso in una turbina al cui albero rotante è ora presente energia meccanica (trasformazione termodinamica).	La stessa sorte subisce il trasporto del vapore dalla caldaia alla turbina. Gli organi meccanici generano calore per attrito malgrado ogni cura che si mette per ridurlo al minimo anche coi lubrificanti. Il calore generato dagli organi meccanici deve essere asportato mediante raffreddamento.
La turbina è collegata ad un generatore elettrico ai cui morsetti è presente energia elettrica (trasformazione meccano-elettrica).	Anche il generatore si scalda perchè percorso da corrente elettrica e perchè ha organi meccanici che creano attrito. Il trasporto di energia scalda gli elettrodotti, anche questo calore deve essere disperso.
In un punto di utilizzazione un grosso motore elettrico è collegato ai terminali di trasporto e produce energia meccanica al suo albero rotante (trasformazione elettromeccanica).	Il motore elettrico si scalda per gli stessi motivi.
Al motore è collegata una pompa che prende acqua da un fiume e carica un bacino in quota (trasformazione meccano-idrodinamica).	Anche la pompa si scalda: al suo raffreddamento provvede l'acqua stessa che viene pompata.

L'acqua nel bacino costituisce una riserva di energia idrostatica che può essere utilizzata nei momenti di maggiore richiesta iniziando una nuova trasformazione.
Alla fine la quantità di energia che si è trasformata è sempre inferiore a quella che si è usata per la trasformazione a causa delle perdite che vengono elencate nella colonna a fianco in corrispondenza ad ogni trasformazione.

Fonti di informazione

ENERGIA ELETTRICA POTENZIALE A TENSIONE COSTANTE

È il caso tipico delle batterie, dove la f.e.m. è quasi indipendente dalla carica della batteria stessa.

Generatori

Fra i modi di generare energia elettrica potenziale si enumerano i seguenti:

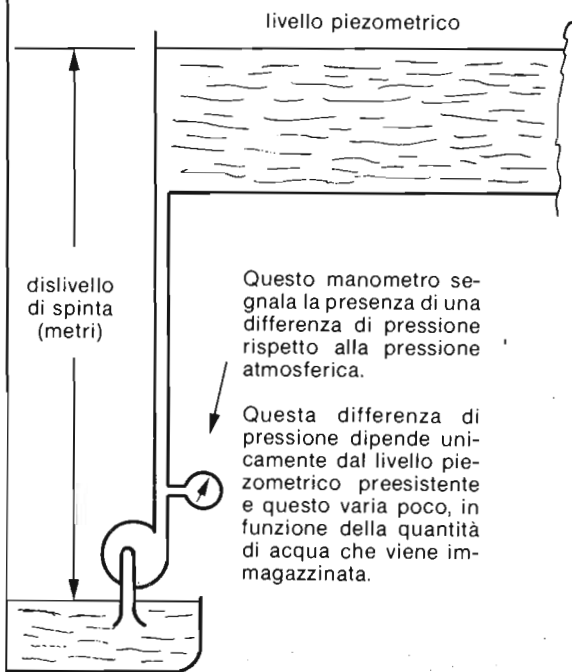
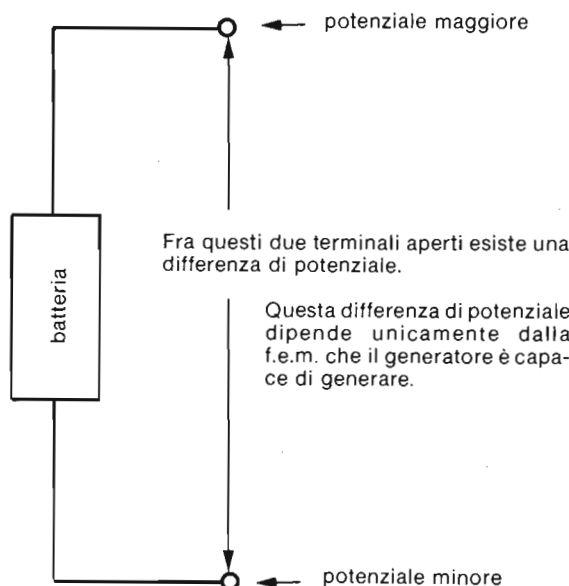
Per azioni elettromeccaniche (v. cap. 12): facendo attraversare un campo magnetico da un materiale conduttore oppure facendo variare il campo magnetico che attraversa un conduttore (macchine elettriche moderne)

Per azioni elettrostatiche: facendo strofinare del materiale dielettrico (macchine elettrostatiche appartenenti alla storia)

Per azioni elettrochimiche: trasformando il potenziale elettrochimico delle reazioni mediante altra energia elettrica

Esaminiamo il problema con il solito paragone idraulico

Meccanicamente è come se innalzassimo dell'acqua al livello preesistente di un grande bacino in quota.

Elettricamente è come se innalzassimo delle cariche al potenziale preesistente di una batteria (cioè la sua f.e.m.).

Energia immagazzinata

Nel caso idraulico essa vale:

$$E = 9{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot Q \cdot h$$

- E: energia potenz. idraulica immagazzinata (in joule)
- $9{,}8 \cdot 10^{-3}$: fattore di equivalenza
- Q: volume di acqua accumulata (in m^3)
- h: dislivello di spinta (in metri)

Nel caso elettrico essa vale:

$$E = Q \cdot V$$

- E: Energia elettrica immagazzinata (joule)
- Q: quantità di elettricità accumulata (in coulomb)
- V: differenza di potenziale (in volt)

ENERGIA ELETTRICA POTENZIALE A TENSIONE DIPENDENTE DALLA CARICA

È il caso tipico dei condensatori, dove la tensione di carica è proporzionale alla carica stessa

Condensatori

Abbiamo visto (12.75-1) che la tensione ai capi di un condensatore dipende direttamente dalla quantità di elettricità accumulata, così come la pressione sul fondo di un serbatoio dipende dalla quantità di liquido accumulatovi.
Studiamo l'analogia dei due casi e calcoliamo l'energia accumulata.

Meccanicamente è come se caricassimo un serbatoio cilindrico con un liquido

La pressione misurata da questo manometro dipende dall'altezza h del liquido, e quindi dalla quantità di liquido.

L'energia accumulata dipende dall'altezza del punto in cui l'intera massa del liquido si immagina concentrata.

Come è noto questo punto si chiama baricentro e nel caso di serbatoio cilindrico esso si trova a metà altezza rispetto al livello del liquido.

Elettricamente è come se "introducessimo" delle cariche in un condensatore (in realtà le spostiamo da una armatura all'altra attraverso il circuito, come vedremo)

La tensione misurata ai capi di questo condensatore aperto dipende linearmente (proporzionalmente) dalla quantità di elettricità "immessa" nel condensatore stesso.

L'energia accumulata dipende dal valore medio della tensione di carica.

Data la linearità del rapporto il valore medio della tensione, man mano che cresce con la carica corrisponde alla metà della tensione finale di carica.

Energia immagazzinata

Nel caso meccanico essa è:

altezza del livello liquido (in metri)

$$E = 9{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot Q \cdot \frac{h}{2}$$

altezza del baricentro

Nel caso elettrico essa è:

$$E = Q \, \frac{V}{2}$$

tensione media

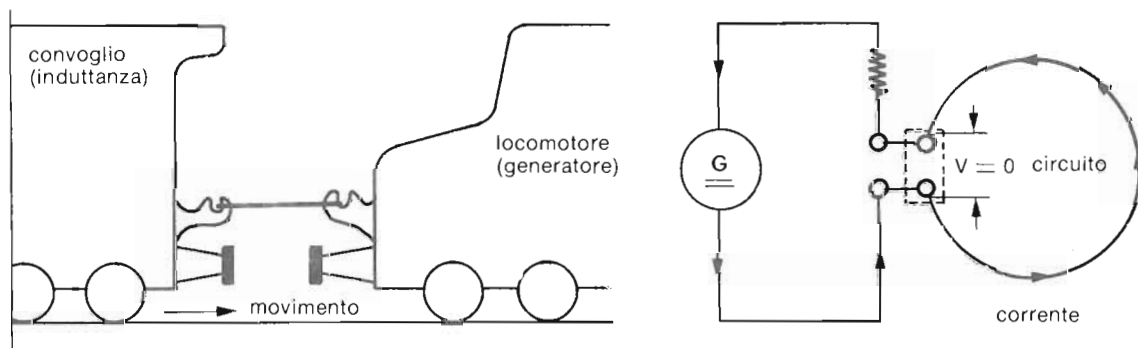
quantità di elettricità accumulata (in coulomb)

ENERGIA ELETTRICA CINETICA

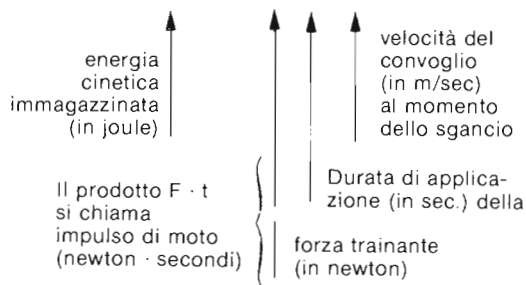
Esaminiamo qui comparativamente fenomeni meccanici e fenomeni elettrici che riguardano l'energia cinetica.

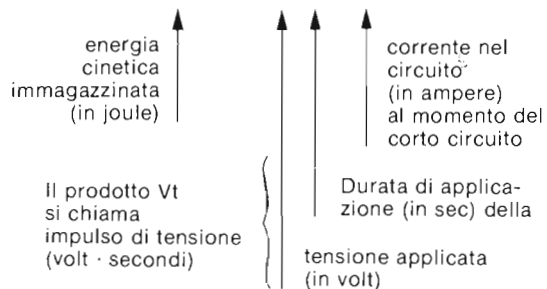
Un circuito si comporta in ogni caso come un induttore.

Meccanicamente abbiamo già visto in (13.31—1) che un treno in corsa possiede e mantiene una energia cinetica,

Elettricamente abbiamo anche visto in (13.31-1) la corrente che circola in un circuito chiuso possiede e mantiene una energia cinetica,

tanto è vero che quando il gancio non è in trazione il convoglio continuerebbe la sua corsa anche se venisse tolto il locomotore.
Se il gancio invece è in trazione, come in realtà lo è, significa che nel convoglio ci sono delle resistenze al moto che il locomotore deve superare altrimenti il convoglio si ferma.

tanto è vero che quando non c'è tensione ai capi del circuito e se esso venisse messo in corto, la corrente continuerebbe a circolare anche se venisse tolto il generatore.
Se invece si forma una piccola tensione ai capi del circuito, come è in realtà, significa che nel circuito c'è una resistenza (quella del conduttore ed eventualmente altre) che il generatore deve superare con la sua f.e.m. altrimenti la corrente si arresta.

Energia immagazzinata

Nel caso meccanico essa è:

Nel caso elettrico essa è:

Paragrafo 14.2
ENERGIA ELETTRICA E MAGNETICA

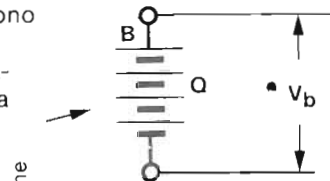
Indice degli argomenti e delle pagine

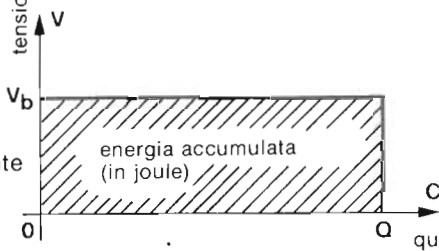
ENERGIA ACCUMULATA IN UNA BATTERIA

Il caso è esaminato in dettaglio e dal punto di vista elettrico

Comportamento di una batteria

Ci troviamo nella situazione accennata in (14.15—1) e cioè:

man mano che si introducono cariche elettriche nella batteria, si provoca una trasformazione chimica di una sostanza in un'altra.
Ciò a spese di energia elettrica che per questo fatto resta accumulata.
Il diagramma qui a fianco illustra questo comportamento ed è visibile come la f.e.m. non vari sensibilmente all'aumentare della carica elettrica accumulata.

Durante questo processo la f.e.m. fra gli elettrodi resta pressochè costante.

L'energia elettrica accumulata nella batteria corrisponde all'area del rettangolo formato dal diagramma e misurata con le dimensioni degli assi coordinati

$$E = Q \cdot Vb$$

- E: Energia accumulata (in joule) nella batteria
- Q: quantità di elettricità accumulata (in coulomb)
- Vb: tensione (in volt) ai capi della batteria

Coulomb e Amperora

Comunemente la carica di una batteria si misura in amperora (Ah).
È un sistema comodo perchè corrisponde:

a) al tempo in ore impiegato dalla batteria carica per scaricarsi erogando la corrente di 1A
b) al tempo in ore impiegato dalla batteria scarica per caricarsi mediante assorbimento della corrente di 1A.

Poichè raddoppiando la corrente si dimezza il tempo di carica o scarica per ottenere la stessa quantità accumulata ecc., il prodotto tempo x corrente definisce una costante che corrisponde alla capacità della batteria e potremo scrivere la seguente relazione.

$$Q_A = I \cdot t_h$$

- Q_A: quantità di elettricità accumulata (in amperora)
- I: Corrente di carica o scarica (in ampere)
- t_h: tempo (in ore) impiegato per la carica o scarica

mentre sappiamo che la quantità di elettricità accumulata (in coulomb)

$$Q = I \cdot t$$

- I: corrente di carica o scarica (in ampere)
- t: tempo (in sec.) impiegato per la carica o scarica

È evidente che le due relazioni stanno nello stesso rapporto che intercorre fra il numero di ore ed il corrispondente numero di secondi; cioè

$$Q = 3600\, Q_A$$

- Q: carica in joule
- Q_A: carica in amperore

Energia accumulata

In seguito alle descrizioni sopra riportate trascriviamo la relazione nel doppio modo:

$$E = Q \cdot V_b = 3600\, Q_A \cdot V_b$$

- E: energia accumulata (joule)
- Q: carica accumulata (in coulomb)
- V_b: f.e.m. presente nella batteria (in volt)
- Q_A: carica accumulata (in amperora)
- V_b: f.e.m. presente (in volt)

ENERGIA ACCUMULATA IN PIU' BATTERIE IN SERIE E IN PARALLELO

Le energie globali contenute in più batterie, si sommano, siano esse collegate in serie o in parallelo.

Batterie in serie

Si abbiano delle batterie in serie scariche.
Ciascuna abbia la propria f.e.m. V_n (volt)
e assorba l'unica corrente I (amp)

Supponiamo che siano caricate da un generatore G assorbendo una corrente I.

Dopo un tempo t (sec.) ogni batteria si sarà caricata della stessa quantità di elettricità (in coulomb) v: 11.21-1

$$Q = I \cdot t$$

e si sarà accumulata globalmente una energia (in joule)

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

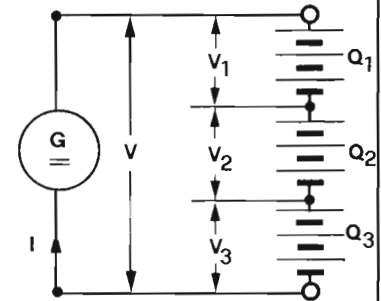
sarà

$$E = V \cdot I \cdot t$$

$$E = V_1Q + V_2Q + V_3Q +$$

energia totale — energia 1ª batt. — energia 2ª batt. — energia 3ª batt.

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

cioè
l'energia totale accumulata è somma delle energie parziali competenti a ciascuna batteria.

Avvertenza
Ogni batteria accumula la stessa quantità di elettricità (essendo corrente e tempo di erogazione uguale per tutte) perciò si saturerà prima la batteria meno capace.
Inversamente, durante la fase di scarica, per lo stesso motivo esse si scaricano di una uguale quantità di elettricità, perciò l'erogazione va arrestata quando si completa la scarica della batteria inizialmente meno carica.

Batterie in parallelo

Si abbiano delle batterie in parallelo
ciascuna assorba la propria corrente I_n (amp)
ed abbia un'unica f.e.m. V (volt)

Supponiamo che siano caricate da un generatore G assorbendo una corrente I

La corrente che assorbe ciascuna batteria dipende dal valore della propria resistenza interna.

Dopo un tempo t (sec.) ogni condensatore sarà caricato di una quantità di elettricità (in coulomb) v:11.21-1

$$Q = I_n \cdot t$$

e si sarà accumulata globalmente una energia (in joule)

ma poichè $I = I_1 + I_2 + I_3$

$$Q = I_1 \div t + I_2 \div t + I_3 t$$

$$E = V \cdot I \cdot t$$

$$E = V \cdot I_1 t + V \cdot I_2 t + V \cdot I_3 t$$

energia totale — energia 1° batt. — energia 2° batt. — energia 3° batt.

si conclude perciò che

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

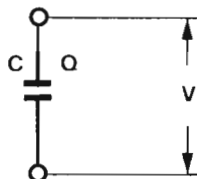
cioè
L'energia totale accumulata è somma delle energie parziali competenti a ciascun batteria.

Avvertenza
Ogni batteria non accumula la stessa quantità di elettricità (essendo diversa la corrente assorbita da ciascuna). La carica avverrà contemporaneamente poichè ogni batteria man mano che si carica assorbe una corrente sempre minore, dato che aumenta la sua resistenza interna.
Inversamente anche durante la fase di scarica, per lo stesso motivo esse non si scaricano di una uguale quantità di elettricità, perciò ogni batteria va staccata non appena avrà esaurito la sua carica.

ENERGIA ACCUMULATA IN UN CONDENSATORE

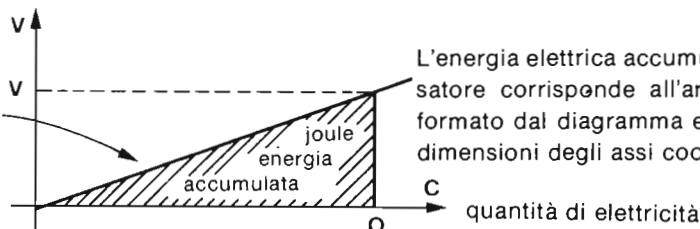
Per il fatto che la tensione cresce man mano che si introducono le cariche, l'energia accumulata è metà di quella contenuta in una batteria sottoposta alla medesima corrente al raggiungimento della sua f.e.m.

Ci troviamo nella situazione accennata in 14.15-2 e cioè:

L'"introduzione" di cariche elettriche Q in un condensatore corrisponde nella realtà al trasporto delle stesse cariche da una armatura all'altra.
Ciò a spese di energia elettrica che per questo fatto resta accumulata nel condensatore.

Durante questo processo di "introduzione" delle cariche, la tensione ai capi delle armature cresce in ragione inversa alla capacità.

tensione (V) $V = \dfrac{Q}{C}$ carica (C) / capacità (F)

Il diagramma qui a fianco illustra questo comportamento ed è visibile come la tensione vari linearmente all'aumentare della carica elettrica accumulata.

V — V — joule energia accumulata — C — Q — quantità di elettricità

L'energia elettrica accumulata nel condensatore corrisponde all'area del triangolo formato dal diagramma e misurata con le dimensioni degli assi coordinati.

Calcolando in base al diagramma si ottiene:

Energia accumulata (in joule) nel condensatore in funzione della carica. →

$$E = \frac{Q \cdot V}{2}$$

Q: quantità di elettricità accumulata (in coulomb)
V: tensione (in volt) ai capi del condensatore

oppure

Energia accumulata (in joule) nel condensatore in funzione della capacità. →

$$E = \frac{CV^2}{2}$$

C: capacità del condensatore (in farad)
V^2: tensione (in volt e al quadrato) ai capi del condensatore

ENERGIA ACCUMULATA IN PIU' CONDENSATORI

Le energie accumulate si sommano indipendentemente dal modo come sono collegati i condensatori.

Condensatori in serie

Sia I (in amp) la corrente costante di carica: la tensione V(volt) crescerà linearmente.

Dopo un tempo t (sec) ogni condensatore si sarà caricato della stessa quantità di elettricità (in coulomb) v. 11.21-1

$$Q = I \cdot t$$

e si sarà accumulata globalmente l'energia (in joule)

$$E = \frac{I \cdot t \cdot V}{2}$$

ma poichè $V = V_1 + V_2 + V_3$

sarà

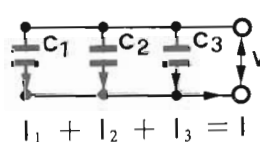
$$E = \frac{I \cdot t \cdot V_1}{2} + \frac{I \cdot t \cdot V_2}{2} + \frac{I \cdot t \cdot V_3}{2}$$

energia totale — energia 1° cond. — energia 2° cond. — energia 3° cond.

e si conclude $E = E_1 + E_2 + E_3$

cioè

Condensatori in parallelo

$I_1 + I_2 + I_3 = I$

Sia I (in amp) la corrente costante di carica: la tensione V crescerà linearmente.

Dopo un tempo t (sec) ogni condensatore si sarà caricato di una quantità di elettricità (in coulomb) v. 11-21-1

$$Q = I_n \cdot t$$

e si sarà accumulata globalmente l'energia (in joule)

$$E = \frac{I \cdot t \cdot V}{2}$$

ma poichè $I = I_1 + I_2 + I_3$

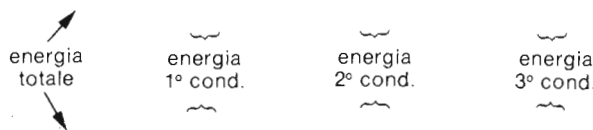
sarà

$$E = \frac{I_1 t \cdot V}{2} + \frac{I_2 t \cdot V}{2} + \frac{I_3 t \cdot V}{2}$$

energia totale — energia 1° cond. — energia 2° cond. — energia 3° cond.

e si conclude $E = E_1 + E_2 + E_3$

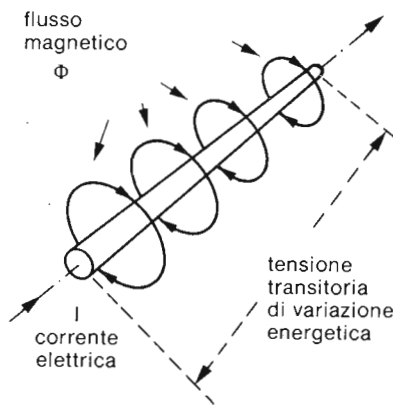
cioè

L'energia totale immagazzinata è somma delle energie parziali competenti a ciascun condensatore

ENERGIA ACCUMULATA IN UN CAMPO MAGNETICO

A spese dell'energia elettrocinetica (corrente elettrica) si crea energia potenziale di tipo magnetostatico.

Nozioni generali ed illustrazione dei fenomeni

Abbiamo visto (12.12.1) che il passaggio di una corrente elettrica di valore costante crea un campo magnetico pure costante.

Il fenomeno transitorio che si verifica con presenza di tensione ai capi del conduttore (Par.13.3) denuncia solo l'eventuale fase di modifica del livello energetico.

Quando la corrente elettrica ha raggiunto un valore costante non c'è presenza di tensione ai capi del conduttore, (se esso è privo di resistenza elettrica).

Ciò significa che l'energia accumulata nel relativo circuito magnetico non subisce variazioni.

La presenza di questa energia la avvertiamo qualora tentassimo di diminuire la corrente elettrica.
Infatti si ripresenterebbe una tensione di polarità opposta alla precedente.

Equivalenza delle energie elettrocinetica e magnetostatica

L'energia potenziale di tipo magnetico accumulata in un tronco di conduttore deve essere uguale a quella della energia cinetica assunta dalla corrente elettrica (14.05-2) e cioè

energia accumulata (in joule) nel magnete ⟶

$$E = \frac{1}{2} V \cdot t \cdot I = \frac{1}{2} I \Phi$$

espressione elettrocinetica: $\frac{1}{2} V \cdot t \cdot I$ — espressione magnetostatica: $\frac{1}{2} I \Phi$

- V: tensione transitoria (V) che si presenta solo durante le variazioni uniformi della corrente
- t: durata (in sec.) della variazione.
- I: valore finale della corrente (amperè)
- I: forza magneto-motrice (in asp.) dovuta al passaggio della corrente I in una sola spira (un solo conduttore)
- Φ: flusso magnetico (in weber)

Osservazione

È affascinante constatare l'analogia con i fenomeni elettrostatici osservando, dall'uguaglianza delle sue espressioni sopra riportate come

il prodotto V·t (in voltsecondi)... ...si identifica con ...

$$V \cdot t = \Phi$$

... quantità di magnetismo (che si identifica col flusso magnetico cioè ha le dimensioni di una "carica" magnetica e non di una corrente).

Altre espressioni dell'energia magnetostatica

La medesima espressione magnetostatica assume forme diverse a seconda di quali grandezze si prendono in considerazione (v. 12.1).

energia accumulata (in joule) nel magnete in funzione della f.m.m. →

$$E = \frac{1}{2}\frac{(NI)^2}{\mathscr{R}}$$

← f.m.m. (asp) di più conduttori attraversati dalla stessa corrente

energia accumulata (in joule) nel magnete in funzione del flusso →

$$E = \frac{1}{2}\Phi^2\mathscr{R}$$

← riluttanza (asp/wb) del circuito magnetico

↑ flusso magnetico (in weber)

Magneti permanenti

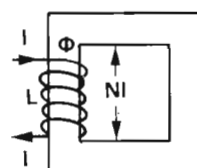
Quest'ultima espressione vale anche per i magneti permanenti.
Essi non renderanno l'energia di eccitazione al conduttore o alla bobina che li ha magnetizzati, al cessare della corrente magnetizzante (v. sez. 2: Elementi dei circuiti).

ENERGIA ACCUMULATA IN UN INDUTTORE

Il concetto di energia accumulata in un induttore non differisce da quello di energia accumulata in un circuito magnetico, dato che questo è parte integrante di quello: la differenza sta nel fatto che qui esprimiamo la energia accumulata in funzione della grandezza elettromagnetica di autoinduzione o induttanza.

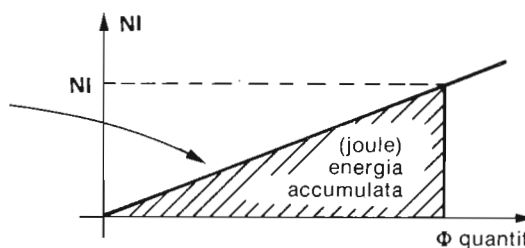
Comportamento in un induttore

Se stiamo bene attenti constateremo che la situazione concettualmente non è diversa da quella del condensatore (14.22-1)

Facciamo conto di "introdurre" cariche magnetiche Φ nell'induttore facendo passare una corrente I nel suo avvolgimento.
Ciò a spese di energia elettrica che si trasforma e si accumula nell'induttore.

Durante questo processo di "introduzione" delle cariche magnetiche, la f.m.m. cresce in ragione diretta alla riluttanza.

carica (wb)

f.m.m. (asp) $NI = \Phi \mathscr{R}$ x riluttanza (asp/wb)

Il diagramma qui a fianco illustra questo comportamento ed è visibile come la f.m.m. vari linearmente con l'aumentare della carica magnetica (flusso) accumulata.

L'energia magnetica accumulata nell'induttore corrisponde all'area del triangolo formato dal diagramma e misurata con le dimensioni degli assi coordinati.

Calcolando in base al diagramma si ottiene:

quantità di magnetismo accumulato (flusso in weber)

Energia accumulata (in joule) nell'induttore in funzione del flusso →

$$E = \frac{\Phi \, NI}{2}$$

← f.m.m. (in asp) agli estremi della bobina

Espressione dell'energia accumulata in funzione dell'induttanza

Per passare a questa espressione, si parte dalla precedente sostituendo il flusso (o carica magnetica) con la sua espressione equivalente.

carica magnetica o flusso (in wb) →

$$\Phi = \frac{NI}{\mathscr{R}}$$

← f.m.m. (in asp)
← riluttanza (in asp/wb)

$$E = \frac{NI}{\mathscr{R}} \frac{NI}{2} = \frac{1}{2} \frac{NV^2}{\mathscr{R}} I^2 \quad \text{ma} \quad \frac{N^2}{\mathscr{R}} = L$$

induttanza (H) (12.27-2)

$$E = \frac{1}{2} L \, I^2$$

energia accumulata (in joule) nell'induttore in funzione dell'induttanza

induttanza (in henry) dell'induttore

corrente (in ampere) che circola nella bobina

Fonti di Informazione ——

ENERGIA ACCUMULATA IN PIU' INDUTTORI

Le energie accumulate in più induttori, siano essi collegati in serie o in parallelo, si sommano

Induttori in serie

Sia V (in volt) la tensione costante di carica: la corrente I (ampere) crescerà linearmente.

Dopo un tempo t (sec.) ogni induttore si sarà caricato della stessa quantità di magnetismo o flusso (in weber) v: 14.12-2

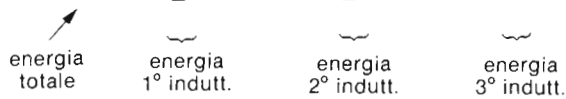
$$\Phi = V \cdot t$$

e si sarà accumulata globalmente l'energia (in joule) v:14.13-1

$$E = \frac{V \cdot t \cdot I}{2}$$

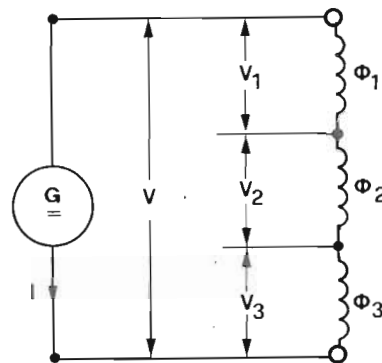
ma poichè $V = V_1 + V_2 + V_3$

sarà

$$E = \frac{V_1 t \cdot I}{2} + \frac{V_2 t \cdot I}{2} + \frac{V_3 t \cdot I}{3}$$

energia totale — energia 1° indutt. — energia 2° indutt. — energia 3° indutt.

e si conclude

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

cioè L'energia totale immagazzinata è somma delle energie parziali competenti a ciascun induttore

Induttori in parallelo

Sia V (in volt) la tensione costante di carica: la corrente I (ampere) crescerà linearmente.

Dopo un tempo t (sec.) ogni induttore si sarà caricato di una quantità di magnetismo o flusso (in weber) v:14.12-2

$$\Phi = V \cdot t$$

e si sarà accumulata globalmente l'energia (in joule)

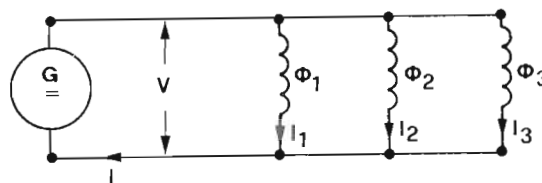
$$E = \frac{V \cdot t \cdot I}{2}$$

ma poichè $I = I_1 + I_2 + I_3$

$$E = \frac{V \cdot t \cdot I_1}{2} + \frac{V \cdot t \cdot I_2}{2} + \frac{V \cdot t \cdot I_3}{2}$$

energia totale — energia 1° indutt. — energia 2° indutt. — energia 3° indutt.

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

cioè L'energia totale immagazzinata è somma delle energie parziali competenti a ciascun induttore

Paragrafo 14.3

POTENZA

Indice degli argomenti e delle pagine

Fonti d'informazione ———

POTENZA E SUA MISURA: IL WATT

Si insiste sul concetto di potenza e sulle possibili confusioni che si possono generare col concetto di energia che è ben diverso.

Definizione di Potenza

Per potenza si intende la rapidità con la quale l'energia viene trasformata in lavoro o in altra energia a mezzo di macchine o varie apparecchiature.
Poichè questa definizione, che vuole essere assolutamente generale, può non soddisfare il lettore, vediamo di trovarne delle altre.

Vari tipi di Potenza

Si potrebbe dire che un motore sia tanto più potente quanto più rapidamente consuma benzina, ma questa definizione è troppo imprecisa, perchè un motore progettato male o logorato può consumare benzina più rapidamente, senza essere capace magari di muovere una bicicletta.

Dovremo perciò dire che un motore è tanto più potente quanto più rapidamente trasforma l'energia benzina in energia utile di qualsiasi tipo.
Comunque, a parte i concetti di rendimento di un motore, si può sempre parlare di

potenza resa: la rapidità con la quale l'energia utile si produce da altra energia.
potenza dispersa: la rapidità con la quale si disperde (cioè non si trasforma in energia utile) parte dell'energia da trasformare.
potenza assorbita: la rapidità con la quale si consuma energia per effettuare le due precedenti trasformazioni (in realtà si vuole ottenere la prima, ma non si può evitare la seconda).

Relazione matematica

Avrete notato quante volte abbiamo trovato la parola "rapidità" nella definizione della potenza.

Il concetto di rapidità è legato al tempo: un dato lavoro è effettuato tanto più rapidamente, quanto meno tempo si impiega ad effettuarlo.
Quanto più rapidamente si compie un dato lavoro, tanto più potente è l'apparecchio che lo compie.

Possiamo scrivere perciò la seguente relazione che definisce anche l'unità di misura: il **watt**.

potenza (in watt) →

$$P = \frac{E}{t}$$

← energia (in joule) trasformata in lavoro
diviso
← durata (in secondi) della trasformazione

Osservando la relazione, tanto per fissare le idee, diremo che: anche piccole energie, trasformate in tempi brevissimi possono dar luogo a potenze enormi anche se di brevissima durata.

Raccomandazioni

È indispensabile che il lettore mediti bene sui due concetti di potenza ed energia, poichè hanno dimensioni assolutamente diverse e perciò non sono paragonabili.
È assolutamente necessario inoltre che non si facciano confuzioni fra queste due grandezze.

Non é cosa grave che giornalisti, avvocati, letterati, contabili e massaie facciano regolarmente e con la massima disinvoltura confusioni di questo tipo, ma è intollerabile che un tecnico elettronico non abbia ben chiari questi due concetti.

ESEMPI PRATICI

Per fissare le idee sui concetti di energia e potenza facciamo alcuni esempi numerici.

Potenza necessaria al sollevamento

Abbiamo visto in 14.12-1 che per sollevare un carico di 3 tonn. all'altezza di 15 metri occorre consumare una energia di 441.000. joule.

A nostro piacere noi potremmo desiderare di impiegare una intera giornata per effettuare questo lavoro oppure di effettuarlo in un minuto.
È evidente che nell'uno o nell'altro caso, pur trattandosi di consumare la stessa energia, occorreranno potenze ben diverse.

Se vogliamo effettuarlo in un minuto, dovendo il tempo essere espresso in secondi, calcoleremo la potenza dividendo l'energia col tempo di 1 min. cioè 60 secondi. Quindi

Potenza di sollevamento P_1 = 441.000 joule : 60 sec = 7350 watt.

Se ci accontentiamo di effettuare lo stesso lavoro nell'arco di un intero giorno, cioè 24 ore, cioè ancora 24 x 3600 sec/h = 86.400 sec, avremo

Potenza di sollevamento P_2 = 441.000 joule: 86.4000 sec = 5,1 watt.

Consumo in benzina di un motore di data potenza

Un motore a scoppio sviluppa la potenza di 70 HP.

Domanda: quanta benzina consuma in un'ora di funzionamento?

La potenza di 70 HP corrisponde alla potenza di 51.520 W. (v. 14.32-1)

Poichè in un motore a scoppio la potenza resa è solo circa il 5% della potenza assorbita, avremo che la potenza assorbita è (51.520 w : 5) x 100 = 1.030.400 w (in termini di rapidità di consumo di benzina).

Ora sappiamo che 1.030.400 w significa consumare 1.030.400 joule ogni secondo, e poichè un'ora consta di 3600 sec, in quell'ora avremo bisogno di consumare una

energia totale assorbita pari a $1.03 \cdot 10^6$ watt x 3600 sec = $3,71 \cdot 10^9$ joule

Per passare da questa quantità di energia a quella equivalente di benzina ricorderemo che (14.12)
1 litro di benzina = $3,4 \cdot 10^7$ joule, perciò necessiterà una

quantità di benzina pari a $3,71 \cdot 10^9$ joule : $3,4 \cdot 10^7$ joule/litro = 10,9 litri

Potenza termica di una stufa

Si abbia una stufa che bruci 10 kg di legna ogni ora.

La combustione di 10 Kg di legna sviluppa (14.12-2) energia termica pari a
10 kg x $1,88 \cdot 10^7$ joule/kg = $18.8 \cdot 10^7$ joule.

Se questa energia viene trasformata in calore, ogni ora si avrà una potenza termica sviluppata di $18,8 \cdot 10^7$ joule/h.

e trasformando il tempo in secondi si avrà una equivalente

potenza termica sviluppata $18,8 \cdot 10^7$ joule/h : 3600 sec/h = 52000 joule/sec = 52 kW

IL WATT A CONFRONTO CON ALTRE MISURE DI POTENZA

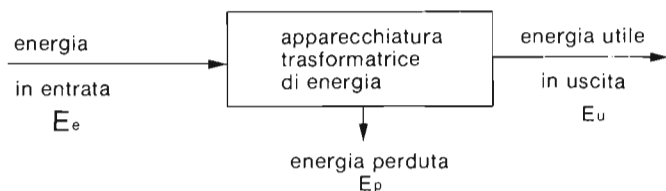
La potenza è un termine concettuale universale.
Essa però può essere misurata in molti modi a seconda delle tecniche e degli strumenti usati per effettuare le misure.
È evidente che, data l'universalità del concetto, l'una misura può essere definita con l'altra secondo un rapporto ben preciso.
Nelle tabelle che seguono ci si riferisce sempre al watt per avere una idea delle dimensioni di questa grandezza tipicamente elettrica.

Determinazione in watt di altre unità di misura di potenza

Denominazione della unità di misura di potenza		Quantità di energia trasformata E (joule)	Tempo di trasformazione t (secondi)	Potenza corrispondente $P = \frac{E}{t}$ (watt)	Tecnica di impiego
chilogrammetro/sec	kgm/sec	9,8	1	9,8	meccanica
caloria/ora	Cal/h	4184	3600	1,16	termodinamica
chilowatt	kW	1000	1	1000	elettrotecnica
cavallo vapore	HP	736	1	736	meccanica

RENDIMENTO

Premessa

Abbiamo già visto (14.14-2) come qualsiasi apparecchiatura o "**generatore**" che dir si voglia, sia in realtà un "**trasformatore di energia**".
Purtroppo queste trasformazioni avvengono con produzione di **calore** da parte dell'apparecchiatura stessa.
Come è noto, il calore è una energia irrecuperabile, cioè è irrimediabilmente perduta quando è abbandonata nello spazio.

La situazione è illustrata in figura e il bilancio energetico è il seguente:

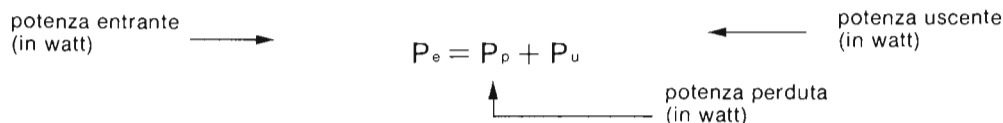
$$E_e = E_u + E_p$$

È evidente che il bilancio deve essere riferito al medesimo intervallo di tempo per cui vale la pena di riferirsi direttamente alle relative potenze.

potenza entrante (in watt) →

$$P_e = P_p + P_u$$

← potenza uscente (in watt)

↑ potenza perduta (in watt)

Definizione

Si intende per rendimento di una apparecchiatura il rapporto

$$\eta = \frac{P_u}{P_e}$$

potenza uscente o utile / potenza entrante

oppure anche

$$\eta = \frac{P_e - P_p}{P_e}$$

dove la potenza utile è definita come differenza fra potenza entrante e potenza perduta

Si deduce quindi che il rendimento di una apparecchiatura è sempre inferiore a 1 ($\eta < 1$) poichè il numeratore che la esprime è sempre inferiore al denominatore.
In termini percentuali si dice che il rendimento di una apparecchiatura è sempre inferiore al 100%.

IL JOULE È SPESSO UN'UNITA' TROPPO PICCOLA PER MISURARE L'ENERGIA

Nelle applicazioni industriali l'espressione dell'energia in termini di joule costringe all'impiego di cifre troppo grosse.
Anche motivi di comodità di impiego hanno portato l'uso di unità di energia derivate dalle unità di potenza (v. 14.12-2)

Unità di misura di energia derivate da unità di misura di potenza

Si può definire l'energia desumendola dal tempo di funzionamento di un apparecchio che sviluppi una determinata potenza.

Prendiamo esempio dall'energia consumata da un apparecchio della potenza di 3W che funzioni per 2 sec.

Diremo che, se ogni watt corrisponde alla rapidità di consumo di energia di 1 joule al secondo, 3 watt corrisponderanno a 3 joule al secondo.
In 2 sec. si saranno consumati 3 x 2 = 6 joule.
Infatti se consideriamo che (14.31-1)

potenza (in watt) → $P = \frac{E}{t}$ ← energia (in joule) trasformata / ← tempo (in sec) di trasformazione

Risolvendo rispetto all'energia si ha

energia (in joule) trasformata dal dispositivo →

Ci sono alcune unità di misura che derivano da questo concetto e sono elencate nella seguente tabella.

Denominazione della unità di misura di energia		Potenza sviluppata P (watt)	Tempo di funzionamento t (sec)	Energia corrispondente E = P · t (joule)	Tecnica di impiego
Chilowattora	kWh	1000	3600	$3,6 \cdot 10^6$	elettrotecnica
Cavallo vapore ora	HPh	736	3600	$2,65 \cdot 10^6$	meccanica

IL WATT RISPETTO A TENSIONE E CORRENTE CONTINUE

Partendo dai concetti espressi in 14.14-2 per l'energia, per definire la potenza si considera ora la rapidità con la quale la stessa energia viene utilizzata.

Espressione matematica in accordo con la definizione (14.31-1)

In conformità a quanto visto in 14.14-2, l'espressione dell'energia elettrica è la seguente.

energia elettrica (in joule) → $E = V \cdot Q$ ← quantità di elettricità (in coulomb)

V: potenziale (in volt) rispetto al punto di riferimento

Poichè la potenza è la rapidità con la quale questa energia viene utilizzata (14.21-1) scriveremo:

Unità di misura: il watt

Secondo l'espressione universale della potenza elettrica, la sua unità di misura, il watt, simbolo W, può essere definito unitariamente in questo modo.

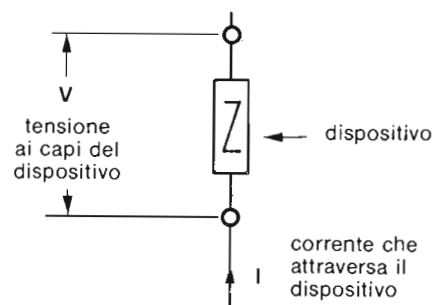
Si sviluppa la potenza di 1 watt in un dispositivo quando esso,
attraversato dalla corrente di 1 ampere
genera ai suoi capi la tensione di 1 volt
produce attraverso di esso la corrente di 1 ampere
oppure quando
applicata ai suoi capi la tensione di 1 volt
si produce attraverso di esso la corrente di 1 ampere.

V
tensione ai capi del dispositivo

Z ← dispositivo

I
corrente che attraversa il dispositivo

Abbiamo appena pronunciato l'espressione unitaria cioè quella formata interamente da unità di misura.
È evidente però che la potenza di 1 watt si ottiene con qualunque combinazione di fattori (V ed I si chiamano i fattori della potenza) tale che il loro prodotto sia sempre uguale a 1 watt.

Così ad esempio danno 1 W le seguenti combinazioni di fattori:
10 A con 0,1 V; 0,2 A con 5 V; 4 mA con 250 V; 1000 A con 1 mV; ecc.

IL WATT RISPETTO A RESISTENZA E CONDUTTANZA

Poichè il rapporto $V/I = R$ definisce la resistenza (10.21-1) ed il rapporto $I/V = G$ definisce la conduttanza, (10.21-3) si può definire la potenza in funzione di queste due grandezze.

Potenza elettrica in funzione di parametri reciproci del circuito

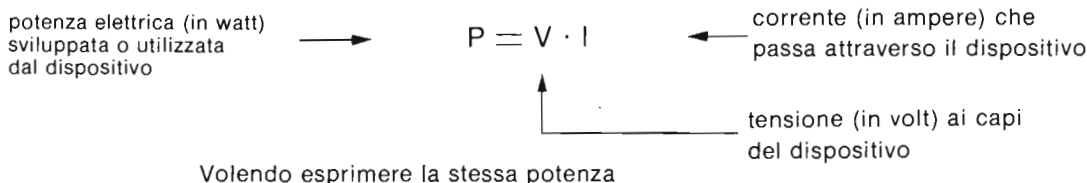
Abbiamo visto alla pagina precedente l'espressione universale della potenza

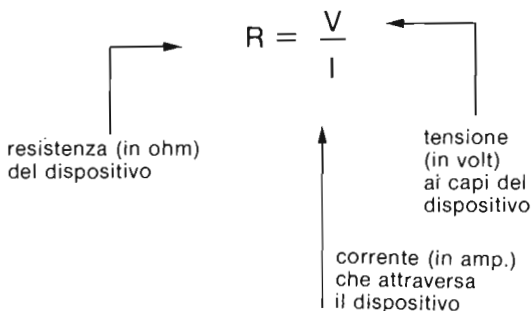
$$P = V \cdot I$$

potenza elettrica (in watt) sviluppata o utilizzata dal dispositivo → P

corrente (in ampere) che passa attraverso il dispositivo → I

tensione (in volt) ai capi del dispositivo → V

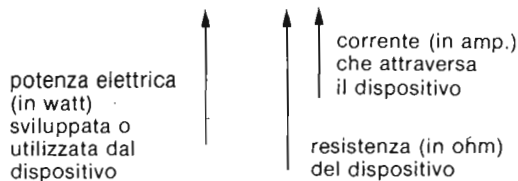
Volendo esprimere la stessa potenza

in funzione della **resistenza**,

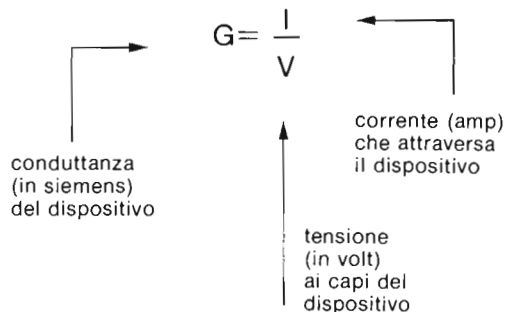
dobbiamo ricordare (10.21) che in un dispositivo

da cui $V = R\,I$

e sostituendo questo valore nella espressione universale si ha:

$$P = RI \cdot I$$

cioè

$$P = RI^2$$

in funzione della **conduttanza**

dobbiamo ricordare (10.21) che in un dispositivo

da cui $I = G\,V$

e sostituendo questo valore nella espressione universale si ha:

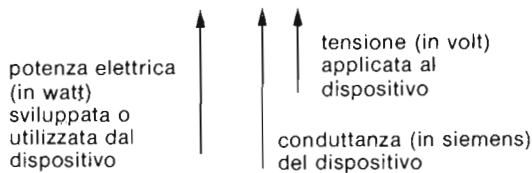
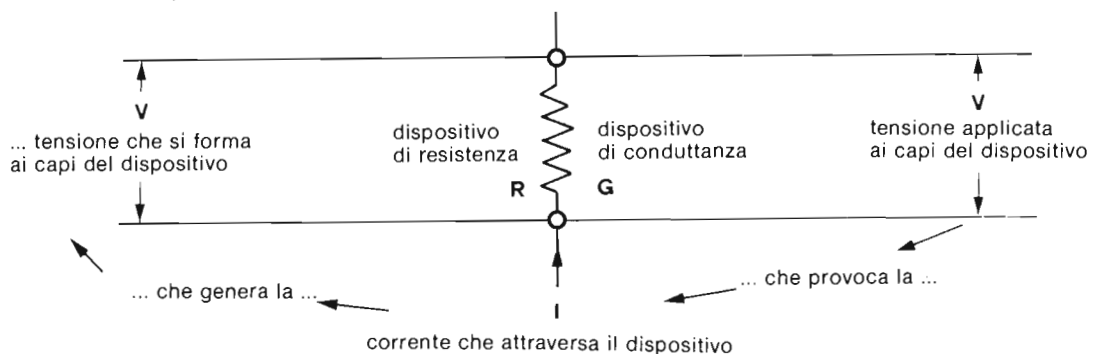
$$P = V \cdot GV$$

cioè

$$P = G\,V^2$$

potenza elettrica (in watt) sviluppata o utilizzata dal dispositivo

tensione (in volt) applicata al dispositivo

conduttanza (in siemens) del dispositivo

Data la perfetta dualità e reciprocità delle espressioni compendiamo le grandezze col seguente disegno

RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI FATTORI DELLA POTENZA ALTERNATA

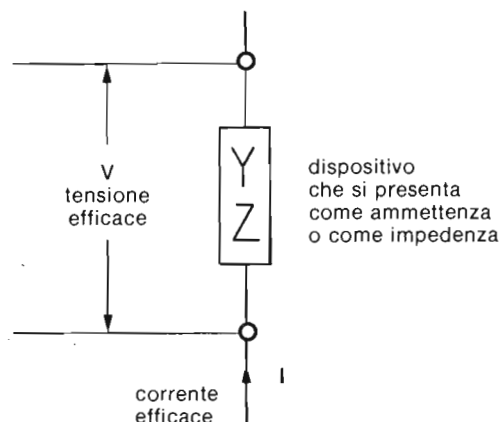
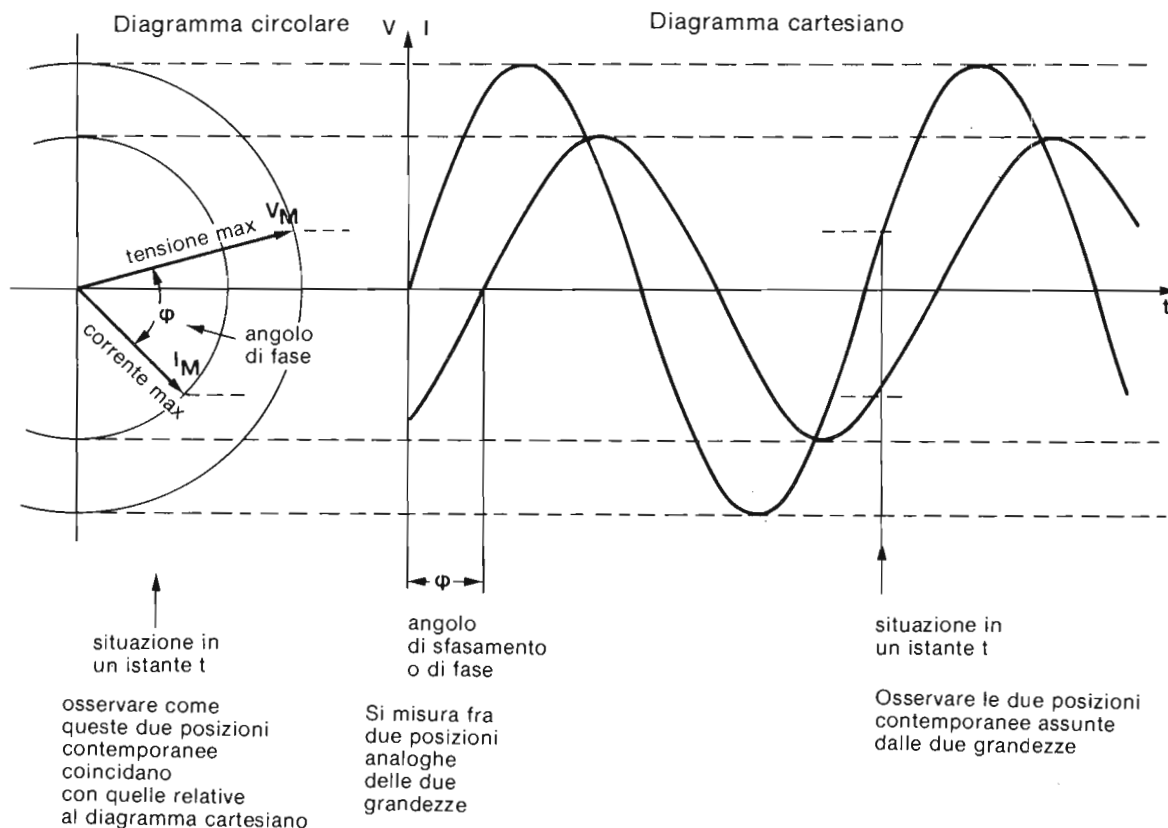
Dal concetto istantaneo della potenza dobbiamo determinare i valori medi in funzione della tensione e della corrente. Qui richiamiamo alcuni concetti già noti.

Esposizione generale del problema

Come abbiamo visto nei paragrafi 13.5 e 13.6 e nelle pagine 11.52-1 e 11.62-1. si verificano i seguenti fenomeni reciproci

Un qualsiasi dispositivo sottoposto

a) **a corrente alternata** generalmente presenta ai suoi capi una tensione pure alternata, della stessa frequenza, ma di fase diversa.

b) **a tensione alternata** generalmente è attraversato da una corrente pure alternata, della stessa frequenza, ma di fase diversa

Rappresentazione grafica delle due grandezze in funzione del tempo

Memento

Per disegnare questi diagrammi è indispensabile partire dai valori massimi.

Ricordiamo le relazioni che legano i valori massimi ai valori efficaci.

corrente max $I_M = \sqrt{2}\, I$ tensione max $V_M = \sqrt{2}\, V$

RAPPRESENTAZIONE TRIGONOMETRICA DELLA POTENZA ALTERNATA

Dimostreremo che la potenza in corrente alternata è una grandezza pure alternata di frequenza doppia di quella dei suoi fattori e che si può scommore in
in un valore medio costante
più due componenti alternata
(cioè di valore medio = 0) fra di loro sfasate di $\pi/2$ rad. (90°).

Premesse

Anche in corrente alternata, ovviamente, la potenza non può non essere valutata secondo l'espressione universale della potenza elettrica, che fino ad ora conoscevamo valida solo per la corrente continua (14.33-1) e cioè

$$p = v \cdot i$$

potenza elettrica (in watt) sviluppata o utilizzata **in ogni istante** dal dispositivo → p

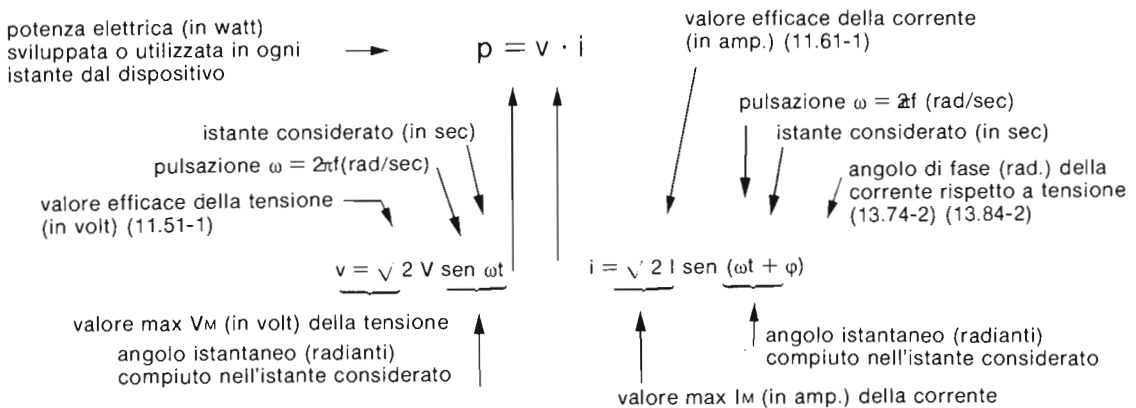
(le lettere minuscole indicano trattarsi di valori istantanei di grandezze continuamente variabili con andamento sinoidale)

i ← valore istantaneo della corrente (in amp.) variabile qualsiasi

v ← valore istantaneo della tensione (in volt) variabile qualsiasi

(tensione e corrente sono i fattori della potenza)

Soluzione per grandezze alternate sinoidali

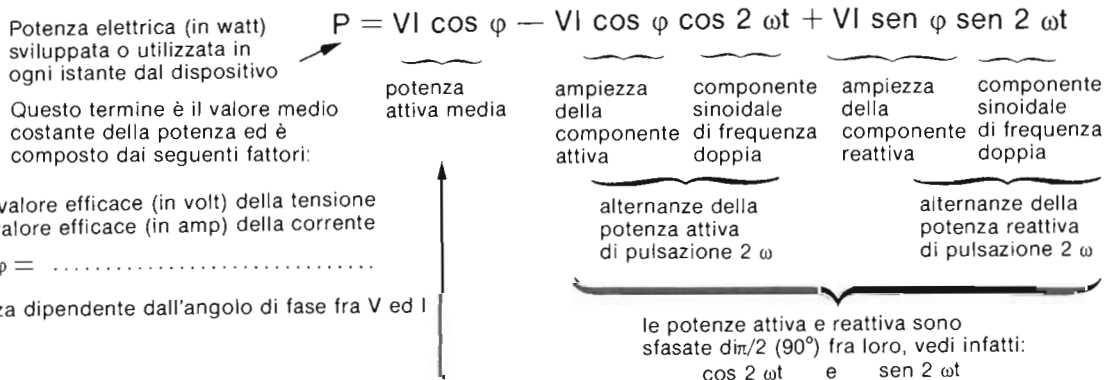
Poichè (11.51-1)(11.61-1) dovremo riferirci razionalmente ai valori efficaci dei fattori della potenza, dovremo far comparire questi valori nell'espressione universale della potenza

sostituendo questi valori nell'espressione della potenza elettrica si ha:

$$p = [\sqrt{2}\, V \operatorname{sen} \omega t]\,[\sqrt{2}\, I \operatorname{sen} (\omega t + \varphi)]$$

e mettendo in ordine

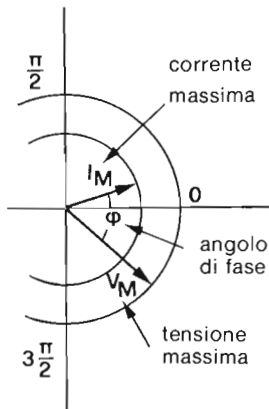
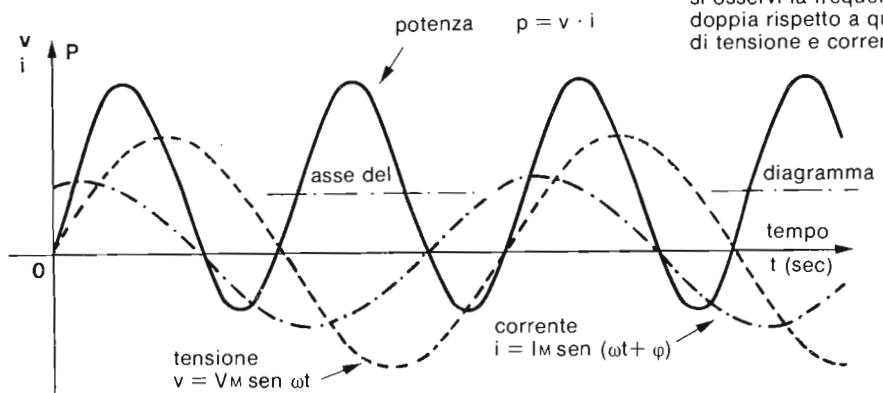
$$p = 2\, VI \operatorname{sen} \omega t \operatorname{sen} (\omega t + \varphi)$$

Risultati e conclusioni

Sviluppando quest'ultima espressione alla luce della trigonometria, di cui risparmiamo i passaggi al lettore, si arriva alla seguente scomposizione di termini

$$P = VI \cos \varphi - VI \cos \varphi \cos 2\,\omega t + VI \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} 2\,\omega t$$

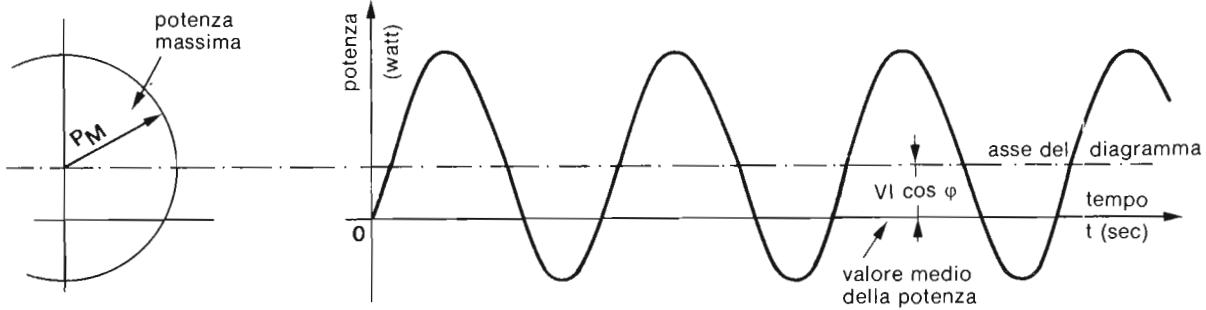
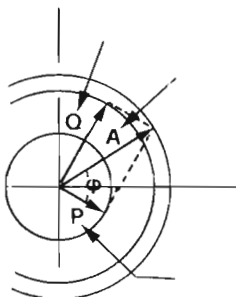
RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLA POTENZA ALTERNATA

Si esprime graficamente tutto quanto si è visto nella pag. precedente

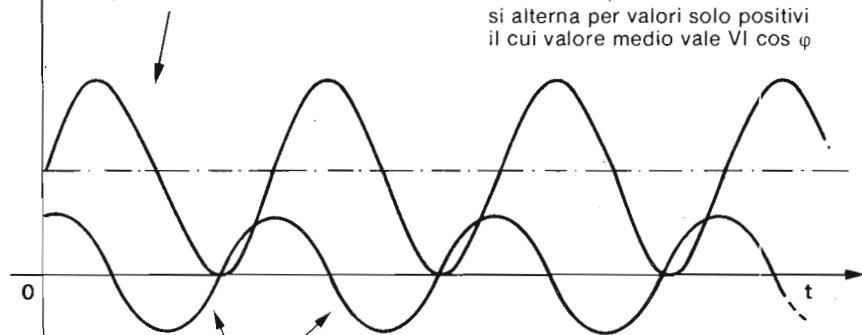
Rappresentazione grafica dei fattori e del prodotto

Il diagramma della potenza si ottiene facendo il prodotto istante per istante dei corrispondenti valori di tensione e di corrente. Nel presente diagramma $\varphi = \pi/3$ rad. (60°)

Casi limite: $\varphi = 0$ (tensione e corrente in fase) $\cos\varphi = 1$
Il diagramma è interamente al disopra delle ascisse
$y = \pi/2$ rad (90°) (tens. e corr. in quadratura) $\cos\varphi = 0$
L'asse del diagramma coincide con le ascisse

Rappresentazione grafica della potenza

Isoliamo il diagramma della potenza per mettere in evidenza alcune considerazioni.

Rappresentazione grafica e scomposizione della potenza

È evidente che per $\cos\varphi = 1$ (sfasamento fra tensione e corrente $\varphi = 0$) la potenza reattiva scompare, mentre rimane tutta la potenza attiva con valore medio $P = VI$

Le alternanze della potenza rispetto all'asse del diagramma possono essere scomposte nelle due seguenti:

$P = VI \cos\varphi \cos 2\omega t$
si alterna per valori solo positivi il cui valore medio vale $VI \cos\varphi$

$Q = VI \operatorname{sen}\varphi \operatorname{sen} 2\omega t$
si alterna per valori positivi e negativi di valore medio = 0
significa che la potenza reattiva viene continuamente scambiata con il generatore

RAPPRESENTAZIONE VETTORIALE DELLA POTENZA ALTERNATA E DEI SUOI FATTORI

Si esamina l'intera casistica della scomposizione vettoriale della potenza

Relazioni generali

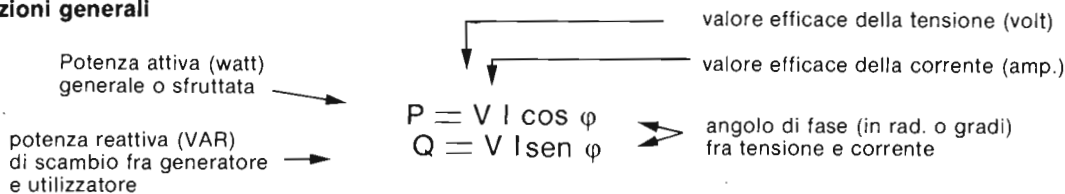
Potenza attiva (watt) generale o sfruttata →

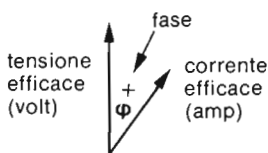
potenza reattiva (VAR) di scambio fra generatore e utilizzatore →

$$P = V\,I \cos\varphi$$
$$Q = V\,I \operatorname{sen}\varphi$$

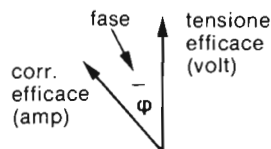
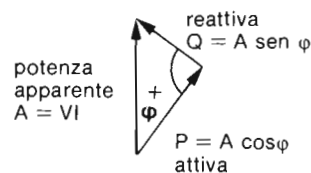
V: valore efficace della tensione (volt)

I: valore efficace della corrente (amp.)

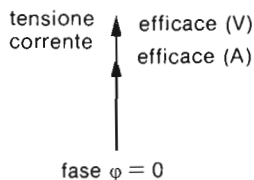
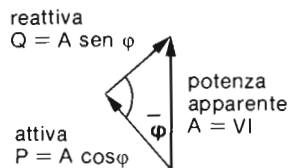
φ: angolo di fase (in rad. o gradi) fra tensione e corrente

Casi particolari e loro rappresentazione vettoriale

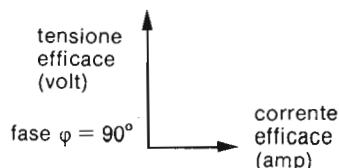
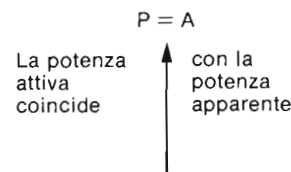
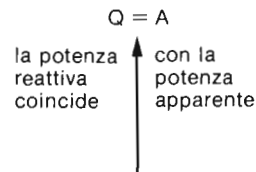
Fra tensione e corrente — Fra le componenti della potenza

La corrente è in ritardo di un angolo φ rispetto alla tensione

Si dice anche che la tensione è in anticipo rispetto alla corrente

fase, corr. efficace (amp), tensione efficace (volt), − φ

La corrente è in anticipo di un angolo φ rispetto alla tensione

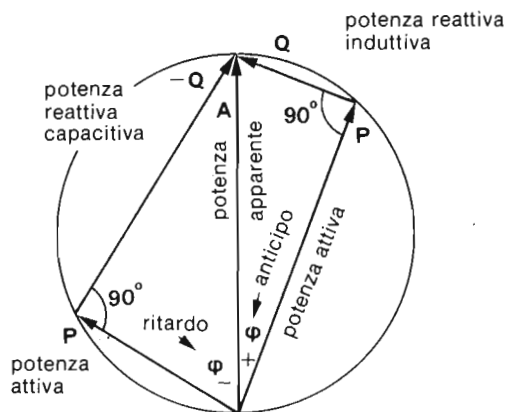
Si dice anche che la tensione è in ritardo rispetto alla corrente

tensione efficace (V), corrente efficace (A), fase φ = 0

La corrente è in fase con la tensione

Tutta la potenza disponibile generata è sfruttata dallo utilizzatore

La corrente è in quadratura con la tensione (in anticipo o in ritardo)
Tutta la potenza disponibile è scambiata reciprocamente al ritmo della pulsazione 2 ω fra generatore e utilizzatore

Riassunto

L'analisi vettoriale è un sistema comodo per rappresentare anche le componenti della potenza.

Per la proprietà degli angoli iscritti nella semicirconferenza (che si mantengono sempre retti dovunque si trovi il vertice), si può disegnare il diagramma generale qui a lato.

La costanza dell'angolo retto garantisce la posizione in quadratura fra potenza attiva e reattiva, mentre il diametro del cerchio corrisponde sempre alla potenza apparente disponibile.

RAPPRESENTAZIONE DELLA POTENZA ALTERNATA CON I PARAMETRI DEL CIRCUITO

I parametri del circuito sono: resistenza, reattanza, impedenza.
In questa pagina si esprimono i vari tipi di potenza in funzione di essi.

Premessa

Applicando le relazioni esposte nei paragrafi 13.5 e 13.6, particolarmente alle pagine 13.55-2 e 13.65-2 possiamo senz'altro esporre qui di seguito le espressioni delle potenze in funzione dei parametri del circuito e dei relativi reciproci.

Potenza apparente

Potenza reattiva

Potenza attiva

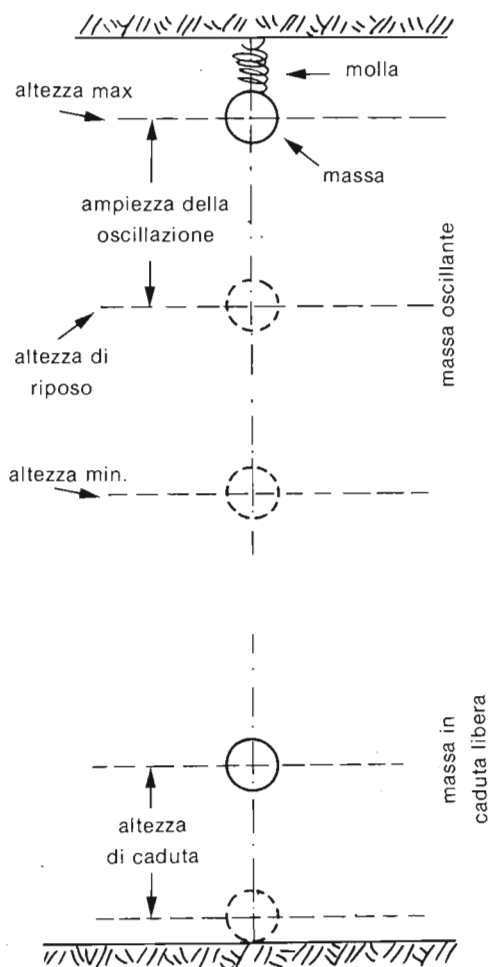
CONCETTO DI VALORE EFFICACE DI TENSIONE

Riprendiamo i concetti già espressi in 11.51-2 e 11.61-2 rispettivamente per le tensioni e le correnti alternate.

Che un moto alternativo sia in grado di produrre lavoro ormai spero che non venga più messo in dubbio almeno da coloro che abbiamo seguito attentamente la trattazione fino a questo punto.

Per arrivare al concetto di valore efficace bisogna trovare una analogia fra ampiezza di oscillazione di una massa e altezza di caduta della stessa per compiere il medesimo lavoro o per sviluppare la medesima potenza nel medesimo intervallo di tempo.

Prendiamo l'esempio illustrato a lato, dove una massa contrastata da una molla è messa in oscillazione verticalmente.

Essa oscillerebbe per sempre se l'energia oscillante alla fine non venisse assorbita da attriti di varia natura, oppure l'energia potrebbe essere trasformata in lavoro utile, ad es. facendo azionare una pompa alternativa.

Ora immaginiamo di lasciar cadere senza contrasti la stessa massa e di farle compiere con la sola caduta la medesima quantità di lavoro dell'esempio precedente.

Ci si porrebbe questa domanda:

"Da che altezza devo far cadere la massa per farle compiere il medesimo lavoro della massa oscillante e che rapporto c'è fra l'ampiezza di quella oscillazione e l'altezza di questa caduta".

Ebbene, fatti i calcoli, ci si accorge che l'altezza di caduta e l'ampiezza della oscillazione stanno fra loro secondo un rapporto fisso e pertanto l'altezza di caduta immaginaria corrispondente alla ampiezza di oscillazione che produce il medesimo lavoro si chiama *valore efficace* di quella oscillazione.

Nell'elettrotecnica se si assimilano le altezze alle tensioni, la relazione che le lega è la seguente:

tensione efficace costante (in volt) → $V = kA$ ← ampiezza della oscillazione (in volt)

↑ costante di proporzionalità

che vale $\frac{1}{\sqrt{2}} =$ (0,707) per la tensione alternata sinoidale

Lo stesso rapporto vale anche per le correnti (confronto fra corrente continua e corrente alternata v. anche 11.61-2).

Fonti di informazione

Paragrafo 14.4
TRASFORMAZIONE E TRASMISSIONE DELL'ENERGIA

Indice degli argomenti e delle pagine

segue

Fonti di informazione ______

VARI MODI DI TRASMISSIONE DELL'ENERGIA IN GENERALE

Trasmissione dell'energia motrice o di segnali

La trasmissione attraverso l'etere di grosse quantità di energia allo scopo di alimentare motori o servomeccanismi è oggi ottenibile a mezzo delle apparecchiature **Laser**, ma il loro sfruttamento industriale è ancora di là da venire.

Per ora è abbastanza facile comandare a distanza un motore qualsiasi, il quale però prende energia da un'alimentazione locale: un bacino idroelettrico, un serbatoio di combustibile, dell'energia elettrica trasmessa a mezzo di cavi, ecc.
Per trasmettere bene l'energia a distanza bisogna ridurre al minimo le dispersioni. Attraverso lo spazio le dispersioni sono notevoli data la tendenza delle radiazioni di diffondersi in tutte le direzioni.

Per il momento, perciò, lo spazio elettromagnetico è destinato soltanto alla trasmissione di segnali i quali, comunque indeboliti dalle dispersioni, possono venire captati ad amplificati, purchè sufficientemente percettibili.
Le potenze in gioco per la trasmissione di segnali per notevoli che siano, sono sempre di modesta entità rispetto a quelle che servono per l'energia motrice.
Questa può essere trasmessa meccanicamente, termodinamicamente o elettricamente. L'energia elettrica è quella che si lascia trasmettere a grandi distanze con modeste perdite nelle linee.

Trasmissione meccanica dell'energia

Avviene mediante il collegamento diretto di organi in movimento a mezzo di cinghie, ingranaggi, catene, ecc.
Una volta era molto diffuso, dato l'alto costo dei motori.
Oggi si preferisce installare un motore in ogni punto dove serve, data la facilità di ottenere motori per ogni valore di potenza ed a costi ragionevoli.
La trasmissione meccanica è ancora conveniente per distanze di pochi decimetri per alimentare organi accessori di macchine e motori o dove sia necessaria la perfetta sincronizzazione di movimenti a mezzo di ingranaggi o catene.

Trasmissione termodinamica dell'energia

Avviene mediante distribuzione di pressione di gas, di vapori o liquidi in temperatura.
La distribuzione avviene in tubazioni e l'energia è sempre presente all'utilizzazione sotto forma potenziale, mediante la pressione o la temperatura del fluido veicolare dell'energia stessa.
Le distanze che si possono coprire in questo modo possono essere notevoli mediante opportuni accorgimenti intermedi per il mantenimento delle pressioni di spinta del fluido.
Si pensi alle reti di distribuzione urbane di gas, acqua, vapore, ecc.
Reti di distribuzione di vapore d'acqua, di aria compressa ecc., sono molto comuni negli stabilimenti industriali.

Trasmissione elettrica dell'energia

È per ora il sistema più diffuso.
Può coprire distanze di svariate centinaia di chilometri senza particolari accorgimenti per compensare le cadute di tensioni, di sfasamenti, ecc.
La distribuzione avviene mediante conduttori isolati sotterranei o nudi e sospesi mediante opportuni sostegni che variano di foggia e di struttura a seconda dei casi.

Trasmissione elettromagnetica dei segnali

Si tratta in generale di trasmissione di energia di piccola potenza che, irradiandosi su un fronte sferico, perde di potenza specifica man mano che si allontana dall'emettitore.

Questa energia serve per modulare fonti di energia locale (apparecchi riceventi) in modo che essi riproducano fedelmente le modulazioni della energia trasmessa e le forniscano la potenza necessaria per alimentare conseguentemente i servomeccanismi che possono essere: l'altoparlante della radio, lo schermo televisivo, i comandi della telescrivente ed altre apprecchiature industriali e commerciali.

NON SI PUO' CREARE ENERGIA: LA SI PUO' SOLTANTO TRASFORMARE

Si illustrano i seguenti fatti:
l'energia esiste soltanto in natura,
noi poveri mortali non possiamo crere niente,
noi possiamo soltanto trasformare ciò che la natura ci dà.

L'energia non si produce

Dobbiamo una volta per tutte sfatare l'illusione istintiva che l'energia si possa veramente «creare».
L'energia non si crea. Nessuno ha mai creato l'energia. Nessuno la potrà mai creare.
Essa esiste in natura sotto molteplici forme che, come abbiamo visto, sono state inquadrate in due grandi categorie trasformabili l'una nell'altra:

l'energia cinetica e l'energia potenziale

È bene chiarire ancora una volta per tutte che l'eufemismo di «produrre» energia, come troviamo nel gergo corrente, deve soltanto significare una trasformazione di energia da una forma scomoda o inutilizzabile in una forma più comoda o sfruttabile per compiere un lavoro. Anche la materia è energia.

MOTORI

La stessa benzina, che proviene da sofisticati procedimenti di raffinazione del petrolio, rappresenta energia potenziale, ma non servirebbe ad altro che a scaldarci, se non avessimo trovato il modo di trasformarla tramite il motore, nel lavoro di traslazione della nostra automobile o di azionamento di altre macchine trasformatrici od operatrici.

Queste apparecchiature che trasformano l'energia in lavoro effettivo si chiamano motori.

Quindi, ripetiamo, i motori non sono che trasformatori di energia in lavoro effettivo e possono assumere vari nomi come:

— mulini a vento, ad acqua
— turbine ad acqua, a vapore, a gas
— reattori di spinta (jet)
— motori elettrici, a scoppio, a combustione

GENERATORI

Queste macchine trasformano l'energia di un tipo in energia di un altro tipo senza produrre lavoro esse stesse.
A seconda del tipo di trasformazione che essi operano, le macchine o i generatori prendono nomi diversi come segue.

Reattori quando producono trasformazioni di: sostanze chimiche in altre; energia chimica o nucleare in energia termodinamica, elettrica, ecc.
Caldaie quando trasformano energia chimica in energia termica o termodinamica mediante combustione di sostanze.
Batterie quando trasformano energia chimica in energia elettrica e viceversa.
Alternatori quando trasformano energia meccanica fornita dai motori in energia elettrica di tipo alternato.
Dinamo quando trasformano energia meccanica fornita dai motori in energia elettrica di tipo continuo.
Trasformatori quando trasformano energia elettrica alternata in energia elettrica alternata di diverse caratteristiche.
Convertitori quando trasformano energia elettrica in altro tipo di energia elettrica.
Trasmettitori quando trasformano energia elettrica in altro tipo di energia elettrica che sia intelligibile (segnali, informazioni).
Radiatori quando trasformano energia termica di conduzione e convezione in energia termica radiante di tipo elettromagnetico.
Antenne quando trasformano energia elettrica in energia elettromagnetica radiante.
Lampadine quando trasformano energia elettrica in energia luminosa di tipo elettromagnetico.
Altoparlanti quando trasformano energia elettrica in energia acustica.

Ecc.

POTENZA DEI GENERATORI NATURALI E ARTIFICIALI

Per farci una idea delle dimensioni delle varie fonti di energia vale la pena di consultare la presente tabella.

Mezzi di trasmissione

L'uomo generalmente usa lo spazio cosmico per trasmettere segnali.
Raramente per ora egli sfrutta lo spazio cosmico per trasmettere l'energia necessaria per compiere lavoro (14.41-1).

Per trasmettere questa energia che diremo motrice l'uomo si serve di canali, tubazioni, conduttori elettrici, a seconda della natura dell'energia stessa.

Solo la natura, principalmente con il sole, al quale oggi dobbiamo tutto ciò che esiste sulla terra perchè possa esistere la nostra vita fin dalle sue origini, si serve dello spazio cosmico per trasmettere energia motrice.

L'uomo si serve dello spazio per trasmettere energia solo per riscaldamento ed illuminazione del proprio ambiente oltre che per trasmettere segnali a notevoli distanze.

Potenza esercitata in modo continuo da varie fonti di energia

Fonte di energia	Potenza generata watt	Mezzo di trasmissione	Destinazione dell'energia
Il Sole	$3.86 \cdot 10^{26}$	spazio cosmico	vitale
Una centrale elettrica	$2.50 \cdot 10^{8}$	elettrodotti	motrice
Una condotta idroelettrica	$5.00 \cdot 10^{7}$	tubazione	motrice
Un generatore di vapore	$4.00 \cdot 10^{7}$	tubazioni	motrice
Un fiume	$3.00 \cdot 10^{7}$	canale	motrice
Una stazione radio trasmittente	$5.00 \cdot 10^{5}$	spazio cosmico	informazione
Una stufa	$1.00 \cdot 10^{4}$	spazio cosmico	riscaldamento
Un faro marittimo	$5.00 \cdot 10^{3}$	spazio cosmico	informazione
Una lampada stradale	$1.00 \cdot 10^{3}$	spazio cosmico	illuminazione

Confronti

Il confronto più stridente è quello fra il sole e una centrale elettrica.
L'energia irradiata dal Sole è pari a quella prodotta da 10^{18} (un miliardo di miliardi) centrali elettriche.
Rispetto a quella che arriva sulla terra (v. 14.42-3) essa corrisponde a quella prodotta da 10^{11} (cento miliardi) centrali elettriche.
Il lettore probabilmente non si rende conto della enormità di simili grandezze.
Ne parleremo qualche volta altrove.
I rapporti fra le altre grandezze sono dell'ordine da 10 a 10^5 che sono più intuibili perchè siamo più abituati a trattare con simili dimensioni.

FORME DI ENERGIA E TRASFORMAZIONI

È interessante constatare in quanti modi l'energia può trasformarsi.
L'intera casistica è stata riassunta e si nota come, nei casi pratici, non sempre si passa direttamente da una forma all'altra.

Energia trasformata	Forma iniziale dell'energia					
	Termica	**Meccanica**	**Chimica**	**Nucleare**	**Elettrica e Magnetica**	**Radiante**
Termica	Riscaldamento degli ambienti e dei fluidi in generale. Scambiatori di calore.	Fenomeni di attrito. Organi in movimento. Freni.	Il calore prodotto dalle reazioni chimiche Combustione ecc.	Il calore prodotto dalle reazioni nucleari Fissione ecc.	Riscaldamento di conduttori attraversati da corrente elettrica.	Effetto serra Assorbimento di radiazioni che si trasformano in calore
Meccanica	Azionamento turbine a gas, stantuffi Motori a vapore a scoppio, a combustione ecc.	Funzionamento di meccanismi Sfruttamento salti d'acqua nelle turbine, pompe ecc.	Mediazione del calore, elettricità ecc. prodotti da reazioni chimiche. Battito del cuore	Mediazione del calore prodotto dalle reazioni nucleari.	Il funzionamento dei motori elettrici	La pressione delle radiazioni Vento Solare.
Chimica	Reazioni chimiche endotermiche.	Reazioni chimiche che assorbono energia di compressione agitazione ecc.	Trasformazioni chimiche Processi vitali.	Trasformazioni chimiche che derivano da processi nucleari.	Elettrolisi Batterie sotto carica Elettrochimica	Impressione fotochimica delle emulsioni fotografiche
Nucleare	Il calore ad altissima temperatura innesca reazioni nucleari	Trasformazione per ora sconosciuta Enormi pressioni gravitazionali nel nucleo degli astri?	Trasformazione per ora sconosciuta	Reazioni a catena Radioattività indotta	Accelerazione di particelle (ciclosincrotrone ecc.)	Le radiazioni ad altissima frequenza creano trasformazioni nucleari se posseggono sufficiente energia
Elettrica e Magnetica	Effetto termoelettrico ionizzazione	Funzionamento delle dinamo e dei generatori elettrici	Fenomeni bioelettrici Batterie sotto scarica Pile voltaiche	Le reazioni nucleari producono sempre fenomeni elettromagnetici	Funzionamento dei trasformatori elettrici	Funzionamento delle batterie solari Effetto fotoelettrico
Radiante	L'energia termica si trasmette nello spazio sotto forma di radiazione	Le vibrazioni si trasmettono nella materia sottoforma di radiazioni (suono, ultrasuoni ecc.)	Lo stesso calore o la luce prodotti da una reazione chimica sono forme di radiazione	I fenomeni elettromagnetici prodotti dalle reazioni nucleari si trasmettono come radiazioni	Le oscillazioni elettromagnetiche si trasmettono come radiazioni (onde radio, luce, calore ecc.)	Un corpo colpito da radiazione può a sua volta irradiare energia.

SCAMBI ALTERNATI DI ENERGIA CINETICA E POTENZIALE

Si analizzano le oscillazioni partendo da quelle del pendolo che sono le più intuitive

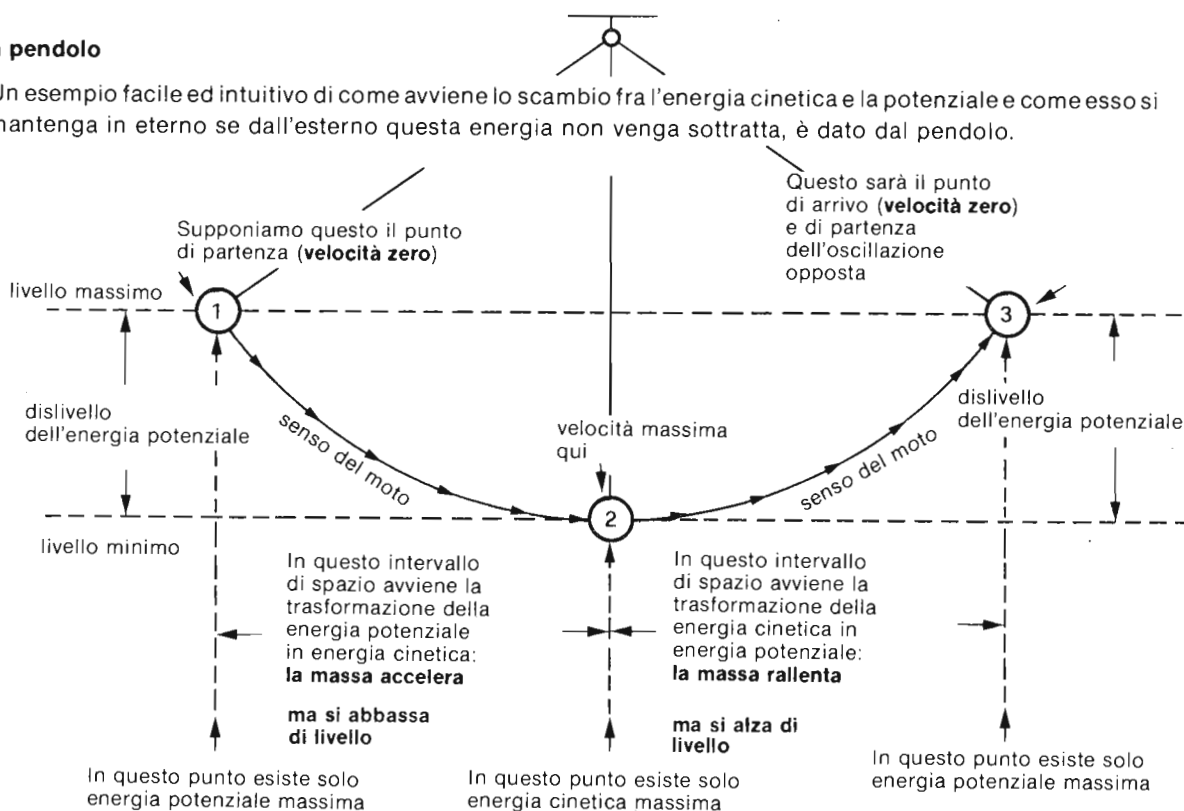
Oscillazioni

La più affascinante forma di energia è quella oscillante o alternata che domina incontrastata la natura, di cui essa è parte integrante, fin dall'inizio dell'universo.
Soltanto recentemente essa è stata ben analizzata, studiata e sfruttata a fondo.
Pensate soltanto come le radiazioni solari, il calore di una stufa, la luce di una lampadina, i suoni ed i rumori, sono fenomeni di trasmissione di energia di tipo oscillante o alternato: sono oscillazioni, sono vibrazioni, sono radiazioni.
La stessa materia, che pare inerte, è il risultato di miliardi di vibrazioni molecolari singolarmente consistenti, ma che danno una risultante complessiva esterna mediamente nulla.
Solo per questo il foglio che state leggendo se ne sta fermo sul tavolo senza apparentemente vibrare: non così ogni molecola di esso, che vibra tanto più forte quanto più alta è la sua temperatura.

Conservazione dell'energia oscillante

Cos'è l'energia oscillante?
E lo scambio alternato di energia dalla forma potenziale alla cinetica e viceversa.
Evidentemente essa si può conservare se si riesce ad evitare che queste oscillazioni si trasmettano allo spazio circostante.
Mantenere, ad esempio, un liquido caldo in una bottiglia thermos, significa far mantenere le vibrazioni delle sue molecole.
Se queste si trasmettono allo spazio circostante il liquido si raffredda perchè l'energia delle vibrazioni termiche si trasmette elettromagneticamente nello spazio, togliendola al liquido stesso.
Ma non è conservando questa energia che ci può essere utile: dobbiamo trasmetterla per trarre quei benefici che la natura ci mette a disposizione.

Il pendolo

Un esempio facile ed intuitivo di come avviene lo scambio fra l'energia cinetica e la potenziale e come esso si mantenga in eterno se dall'esterno questa energia non venga sottratta, è dato dal pendolo.

TRASMISSIONE DELL'ENERGIA OSCILLANTE. RADIAZIONI

Dall'esempio del pendolo si cerca di far intuire come le oscillazioni elettromagnetiche gli assomiglino.

Trasmissione meccanica delle oscillazioni pendolari

Un pendolo può trasmettere energia ad un altro pendolo a spese della propria energia (ad es.: attraverso gli spostamenti d'aria).

Ciò può avvenire solo se i due pendoli possono oscillare alla medesima frequenza e alla fine entrambi oscilleranno in modo che l'energia di ciascuno sia la metà di quella che il primo possedeva.

Se le masse dei due pendoli, inoltre, sono uguali, anche le ampiezze delle due oscillazioni saranno uguali; diversamente le due energie, pur risultando uguali si estrinsecheranno in modo che a massa minore corrisponderà ampiezza maggiore e viceversa.

Infine, se i due pendoli non sono in grado di oscillare alla medesima frequenza, la trasmissione della energia avverrà in un modo fluttuante dall'uno all'altro e viceversa a seconda delle posizioni reciproche in cui essi si troveranno.

Trasmissione elasto-cinetica delle vibrazioni

È quella che è visibile quando si percuote una corda tesa: l'energia potenziale non è più quella di posizione di una massa, ma è quella elastica di compressione e di trazione del materiale creata dalla massa della corda stessa.

Su questo fenomeno si basa la trasmissione delle vibrazioni acustiche nell'aria, nell'acqua e in tutti gli altri materiali in qualsiasi stato essi si trovino.

Trasmissione elettro-magnetica delle radiazioni

Con i due precedenti esempi di trasmissione meccanica delle oscillazioni vogliamo mostrare che esiste una analogia anche con altri modi di trasmissione dell'energia e principalmente con quella elettromagnetica.

Una sorgente di trasmissione dell'energia possiede un «meccanismo» o comunque un dispositivo che fornisce energia al pendolo «trasmettitore» o circuito oscillante, man mano che questa lo perde per trasmetterla ai «pendolini» elementari elettromagnetici che formano il campo elettromagnetico dello spazio cosmico nel quale è compreso anche il nostro micromondo.

L'energia comunque si trasmette dal punto che si trova a potenziale maggiore verso quelli che si trovano a potenziale minore.

Energia dispersa

È quell'energia, sempre di natura oscillatoria, che di trova al potenziale più basso possibile nello spazio e tale da non trovare altri punti situati a potenziale inferiore per poter ricevere quell'energia.

È il caso dell'energia termica quando raggiunge la temperatura dello spazio cosmico.

Radiazioni e frequenze di oscillazione

Le radiazioni acquistano caratteristiche diverse a seconda della frequenza con la quale esse sono generate.
Esse possono essere visibili come luce, o dare la sensazione di calore, o penetrare nei corpi.
Nella tabella che segue le troviamo classificate e vale la pena di fermarsi a meditare un pochino.
(14-42-8).

Velocità di trasmissione

La velocità di trasmissione delle radiazioni elettromagnetiche nello spazio, la cosiddetta **velocità della luce**, è praticamente di:

300.000 km/sec e cioè, in unità fondamentali: **3.10^8m/sec**

IRRADIAZIONE SFERICA DELL'ENERGIA

Dimostreremo che la potenza specifica diminuisce col quadrato della distanza dal punto emittente la radiazione.

Generalità

L'energia si irradia allontanandosi uniformemente dal punto emittente in tutte le direzioni e forma perciò un fronte sferico che in tutta la sua superficie contiene sempre la potenza originaria emessa dal generatore.
Allontanandosi dall'emittente, la superficie sferica del suo fronte aumenta, mentre, come abbiamo detto, la potenza totale resta costante, (se non ci sono dispersioni).
In questo caso, la potenza specifica, cioè la potenza per metro quadrato di superficie di fronte, diminuisce man mano che il fronte si allontana dal centro emittente.
Vedremo ora come trovare una relazione che leghi la potenza specifica (w/m^2) alla distanza (m) dal punto di emissione.

Come diminuisce la potenza specifica con la distanza dall'emittente

Come abbiamo già detto, ogni watt di potenza, man mano che la sua radiazione si allontana, dal punto di emissione, si distribuisce su un fronte di superficie sempre più estesa.
La superficie è quella di una sfera di raggio pari alla distanza dal punto di emissione

(superficie sferica in funzione del raggio)

Esempio: quanta potenza irradiata dal Sole arriva sulla Terra

potenza irradiata dal Sole (14.34-1)

potenza specifica del fronte alla distanza della Terra →

$$D = \frac{3{,}86 \cdot 10^{26}}{12{,}56 \cdot (1{,}5 \cdot 10^{11} m)^2} = 1{,}37 \cdot 10^3 \ w/m^2$$

4 π ; distanza della Terra dal Sole

Ogni m^2 di superficie terrestre esposto al Sole è perciò colpito da una potenza di $1{,}37 \cdot 10^3$ w.
L'intera superficie raccoglie ed in parte (per fortuna) riflette:

Potenza totale che colpisce la terra →

$$P_t = D \, 2\pi \, r^2 = 1{,}37 \ w/m^2 \div 6{,}28 \cdot (6{,}37 \cdot 10^6 \ m)^2 = 3{,}48 \cdot 10^{17} w$$

potenza specifica di arrivo sulla terra ; superf. di terra esposta al sole

MECCANISMO DELLA PROPAGAZIONE DELL'ENERGIA ELETTROMAGNETICA

Premessa

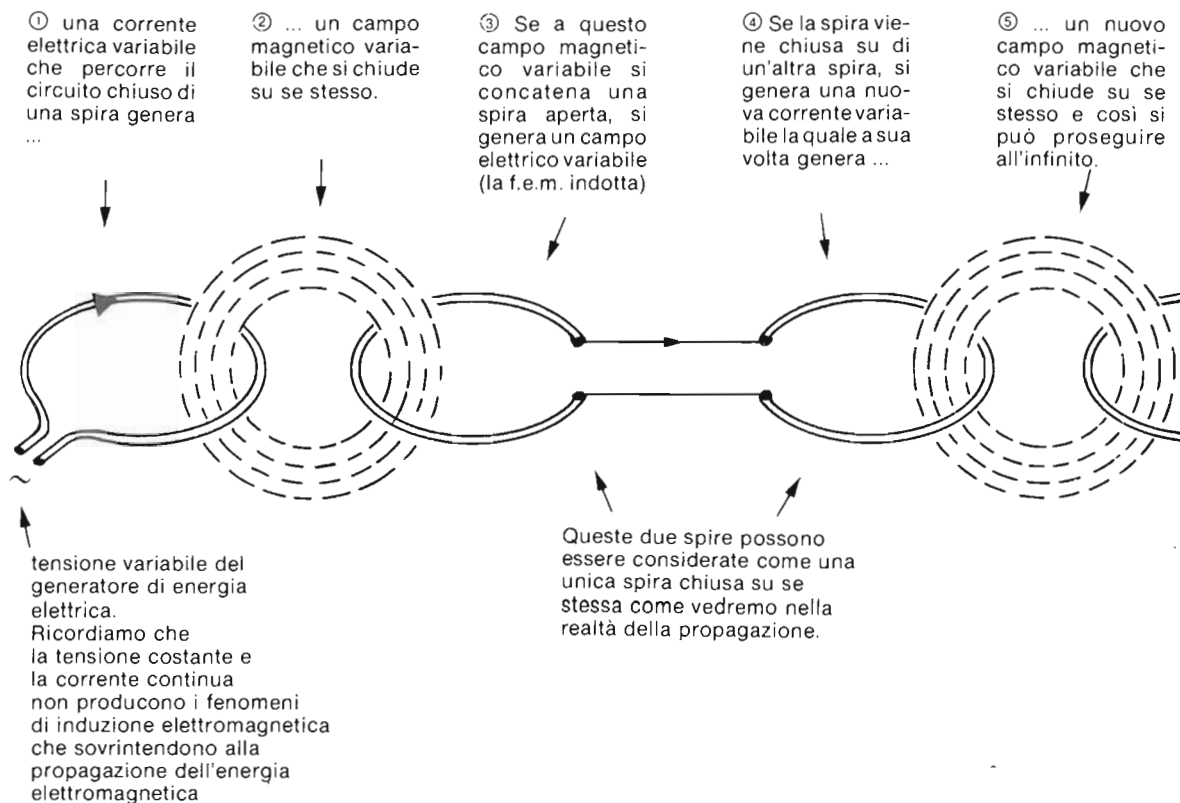
Finora ci siamo occupati di constatare in quanti modi l'energia elettromagnetica venga trasmessa dai vari generatori naturali e artificiali e come essa venga recepita dal ricevitore più o meno opportunamente adattato al trasmettitore particolare.

Ora analizzeremo in che modo avviene la propagazione di questa energia.

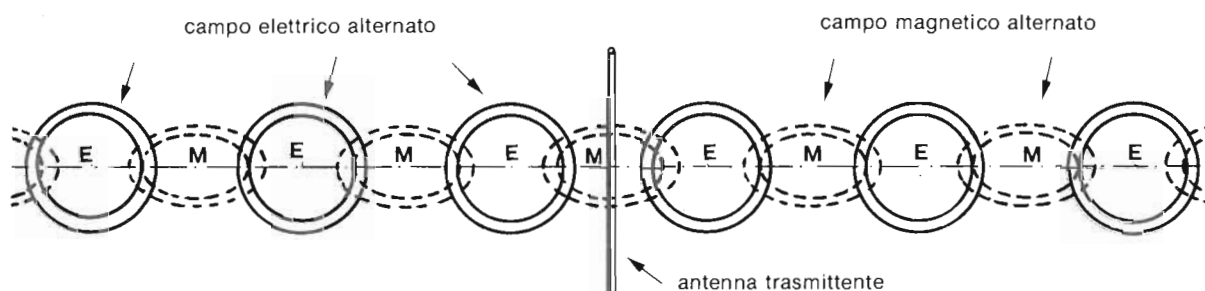
Mezzo di trasmissione

Il mezzo di trasmissione dell'energia elettromagnetica è lo spazio nel quale si può esercitare il campo elettromagnetico.
La precisazione non è superflua, poichè si sono scoperte porzioni di spazio cosmico dove pare che il campo elettromagnetico non si possa esercitare (buchi neri).

Il "meccanismo" vero e proprio

Nel cap. 12 riguardante i fenomeni elettromagnetici e particolarmente in 12.23-4 abbiamo osservato una certa concatenazione di cause ed effetti come segue

ESAME DELLA PROPAGAZIONE DALL'ANTENNA TRASMITTENTE ALL'ANTENNA RICEVENTE

Trasmissione

Sotto la sollecitazione delle correnti elettriche che percorrono l'antenna avanti e indietro (oscillazioni) alla frequenza di trasmissione, si formano attorno all'antenna dei campi magnetici oscillanti alla medesima frequenza.
Ormai sappiamo che un campo magnetico variabile genera forza elettromotrice (f.e.m.), che in questo caso oscilla pure alla medesima frequenza ed inoltre si chiude su se stessa, come se lo spazio fosse riempito di elettroni.
La chiusura della f.e.m. oscillante produce altra corrente e perciò altro campo magnetico oscillante e da questo, altro campo elettrico oscillante e così via.

La catena lineare, che in figura rappresenta il fenomeno in scala mastodontica, è ben lontano dalla realtà:

Con un po' di fantasia il lettore deve immaginare:
— che ogni anello M si concatena con più anelli E
— e che ogni anello E si concatena con più anelli M
e così via in modo da realizzare una propagazione spaziale a fronte sferico di un'onda che però diventa sempre meno densa di energia man mano che si allontana dal centro di sollecitazione (antenna trasmittente), proprio come la parete di un palloncino che diventa sempre più sottile man mano che noi seguitiamo a gonfiarlo.
Queste onde, il cui fronte si allontana dall'antenna proprio come le pareti di tanti palloncini che si gonfiano uno dentro l'altro (concentrici), colpiscono tutto ciò che incontrano e, a seconda della natura dell'ostacolo e delle sue dimensioni, subiscono il fenomeno della riflessione, quello della rifrazione, o passano indisturbate.

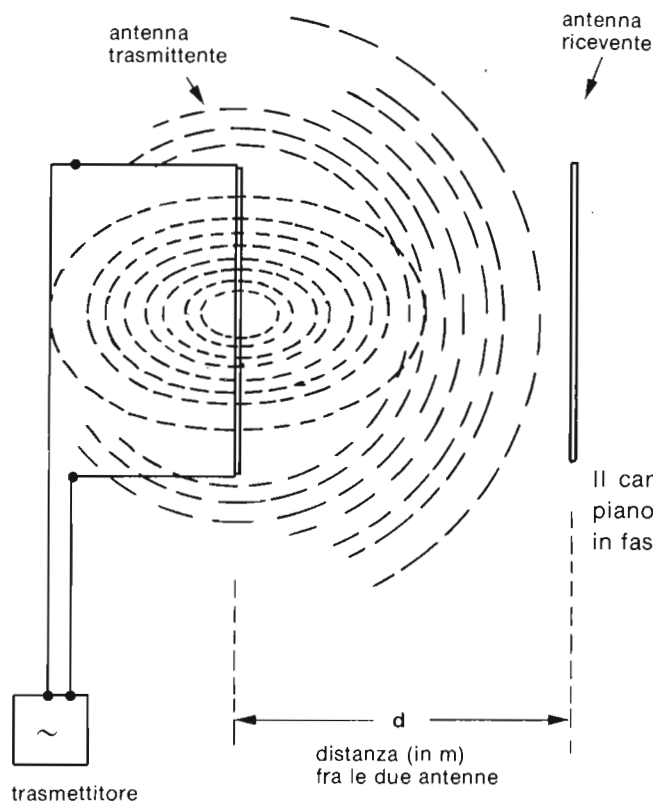
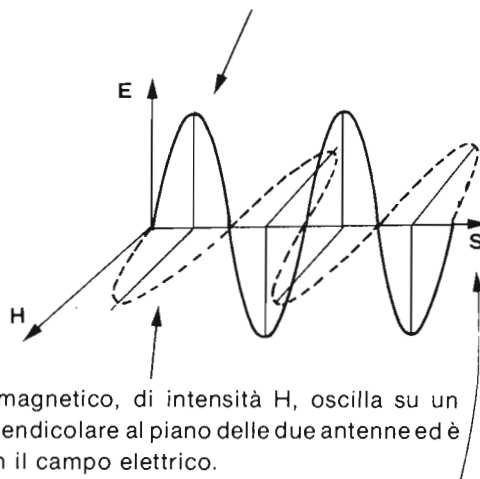
Ricezione

In particolare, se l'ostacolo è di materiale conduttore esso diventa sede di f.e.m. alternata, di frequenza identica a quella dell'antenna trasmittente.
Se la massa di questo materiale conduttore è informe, le correnti che vi si generano si chiudono su se stesse e l'energia così catturata viene interamente dissipata sotto forma di calore.
Ma se all'ostacolo di materiale conduttore diamo un aspetto filiforme di lunghezza opportuna e lo disponiamo in modo che risulti tangente al fronte dell'onda incidente in f.e.m. alternata, sarà possibile sfruttare la f.e.m. che si produce ai suoi capi introducendola in una apparecchiatura che la amplifichi e la renda intelligibile ai nostri sensi.

Abbiamo descritto l'antenna ricevente.

Elettricamente essa altro non è che un trasduttore che trasforma la potenza specifica (w/m^2) del fronte dell'onda incidente in f.e.m. alternata.
Visto dall'apparecchiatura che ne amplificherà il segnale, l'antenna ricevente appare come un generatore di segnale con la sua impedenza interna.

ENTITA' DI POTENZA RICEVUTA DA UN'ANTENNA RICEVENTE

Data la situazione in figura si determinano gli elementi che servono al calcolo.

Il campo elettrico, di intensità E, oscilla sullo stesso piano delle due antenne.

Il campo magnetico, di intensità H, oscilla su un piano perpendicolare al piano delle due antenne ed è in fase con il campo elettrico.

La direzione di propagazione S coincide con quella del vettore di Poynting o densità di potenza (w/m^2). Questi dipendono dalla distanza dell'antenna ricevente dalla trasmittente.

Espressioni della densità di potenza o vettore di Poynting (in w/m^2)

$$S = \frac{P}{4\pi d^2}$$

- P: Potenza (in w) irradiata dall'antenna trasmittente
- $4\pi d^2$: Superficie (in m^2) della sfera d'onda alla distanza d (in m) dalla trasmittente.

$$S = E \cdot H$$

- E: intensità del campo elettrico (in V/m) all'antenna ricevente
- H: Intensità del campo magnetico in (Asp/m) che attraversa l'unica spira formata dall'onda in propagazione nel punto dove si trova l'antenna ricevente.

IMPEDENZA CARATTERISTICA DELLO SPAZIO VUOTO

Poichè entrambe le grandezze: E (intensità del campo elettrico)
H (intensità del campo magnetico)

diminuiscono nella medesima proporzione, man mano che il punto dove vengono determinate si allontana dalla trasmittente, il loro rapporto

$$Z_0 = \frac{E}{H}$$

è costante in qualsiasi punto dello spazio ed ha le caratteristiche di una impedenza.
Possiamo concludere che Z_0 è **l'impedenza dello spazio**.
Sperimentalmente si è constatato che $Z_0 = 377\ \Omega$

Fonti di informazione ______

VELOCITA' DI TRASMISSIONE O DI PROPAGAZIONE NEI MATERIALI

L'energia elettromagnetica, tra cui la luce, si trasmette nello spazio cosmico a causa di serie di scambi di energia potenziale di tipo elettrostatico con energia cinetica di tipo elettromagnetico (v. cap. 12) fra loro concatenati dai fenomeni di induzione elettromagnetica.

La velocità di propagazione dell'energia elettromagnetica dipende dalla natura dei materiali stessi e dalle loro caratteristiche fisiche (temperatura, densità ecc.) oltre che dalla frequenza della radiazione stessa. Questo fenomeno è particolarmente importante per le frequenze luminose.

Diamo qui sotto un elenco di valori per quei mezzi solitamente sfruttati dall'uomo (la variabilità dipende da qualità e temperatura del materiale e dalla lunghezza d'onda della luce incidente)

Materiali	Condizioni fisiche	Velocità di propagazione m/sec
Spazio cosmico	inconsistente, ma rigido	$2{,}99 \cdot 10^8$
Vetro	stato solido	$1{,}86 \div 2.00 \cdot 10^8$
quarzo	stato solido	$1{,}77 \div 1.93 \cdot 10^8$
acqua	stato liquido	$2{,}25 \div 2.28 \cdot 10^8$
alcool	stato liquido	$2{,}20 \div 2.25 \cdot 10^8$

VELOCITA' DI PROPAGAZIONE IN RAPPORTO AD ALTRE GRANDEZZE

È affascinante constatare come la velocità delle radiazioni elettromagnetiche nel vuoto si trovi in relazione molto semplice con le costanti dielettriche e magnetiche

velocità delle radiazioni (in m/sec) ⟶

$$C = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

costante dielettrica del vuoto: $\varepsilon_0 = 8{,}858 \cdot 10^{-12}$ F/m

costante magnetica del vuoto: $\mu_0 = 1{,}256 \cdot 10^{-6}$ H/m

Lunghezza d'onda

La conoscenza della lunghezza d'onda di una radiazione non è molto importante poichè come vedremo essa dipende dalla conoscenza della frequenza e dalla velocità di propagazione della radiazione stessa. Questa grandezza assume importanza quando il suo valore deve essere posto in relazione alle dimensioni fisiche di ostacoli, particelle ecc.
Ancora oggi, anche se la sua importanza va attenuandosi, si dà risalto a questa grandezza per abitudine basata sulla consuetudine passata.

Ecco la relazione che la lega alla frequenza e alla velocità di propagazione

lunghezza d'onda (metri) della radiazione

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

velocità di propagazione (m/sec) diviso frequenza di emissione (hertz)

CLASSIFICAZIONE E PRINCIPALI CARATTERISTICHE DELL'ENERGIA ELETTROMAGNETICA

FREQUENZA	DENOMINAZIONE	DISPOSITIVO GENERATORE	DISPOSITIVO RIVELATORE	IMPIEGHI PRINCIPALI
inferiore a 30 Hz 300 Hz 3 kHz	onde a frequenza industriale e acustica per telefonia	dispositivi elettrici ed elettronici	dispositivi elettrici ed elettronici	industriali, telefonia diretta
30 kHz	onde miriametriche VLF a bassissima frequenza	oscillatori elettronici con tubi a vuoto o a transistor	dispositivi elettronici con tubi a vuoto o a transistor	riscaldamento a induzione radionavigazione
300 kHz	onde chilometriche LF a bassa frequenza			radiodiffusione (onde lunghe), radionavigazione
3 MHz	onde ettometriche MF a media frequenza			radiodiffusione (onde medie), modulazione di ampiezza
30 MHz	onde decametriche HF ad alta frequenza			radiodiffusione (onde corte), modulazione di frequenza
300 MHz	onde metriche VHF ad altissima frequenza			radiodiffusione, televisione, modulazione di frequenza
3 GHz	microonde: onde decimetriche, UHF a frequenza ultra alta	oscillatori elettronici con tubi a vuoto o a transistor idrogeno interstellare	dispositivi elettronici, bolometri	televisione, sistemi radar (banda L)
30 GHz	microonde: onde centimetriche, SHF a frequenza ultra alta	oscillatori elettronici con klystron, magnetron, tubi a onda viaggiante		sistemi radar (bande S, C, X, K), laser
300 GHz	microonde: onde millimetriche EHF a frequenza estremamente alta			laser, sperimentali
3000 GHz $3 \cdot 10^{13}$ Hz $3 \cdot 10^{14}$ Hz	radiazioni infrarosse	corpi caldi, molecole	bolometri, convertitori di immagine e altri dispositivi basati su effetti del riscaldamento, organi del tatto	riscaldamento, laser, fotografia infrarossa
$3 \cdot 10^{15}$ Hz	radiazioni visibili	corpi molto caldi, atomi molecole	occhio, spettrometro, fotografia, fotocellule, fotomoltiplicatori	analisi chimica, fotografia, sintesi clorofilliana
$3 \cdot 10^{16}$ Hz	radiazioni ultraviolette	atomi nelle scariche, e negli archi	fotografia, fotocellule, fotomoltiplicatori	analisi chimica, fotografia ultravioletta
$3 \cdot 10^{17}$ Hz $3 \cdot 10^{18}$ Hz $3 \cdot 10^{19}$ Hz $3 \cdot 10^{20}$ Hz	raggi X	atomi nelle scariche, bombardamento elettronico di solidi, Orbite interne dell'atomo, annichilazione elettrone-positone	fotografia e altri dispositivi basati sulla ionizzazione	roentgenscopia (medica e industriale), roentgenterapia
$3 \cdot 10^{21}$ Hz $3 \cdot 10^{22}$ Hz	raggi γ	nuclei radioattivi	dispositivi basati sulla ionizzazione	terapia, gammascopia, radioisotopi
$3 \cdot 10^{23}$ Hz	raggi γ della radiazione cosmica	corpi celesti e materiale interstellare	dispositivi basati sulla ionizzazione	

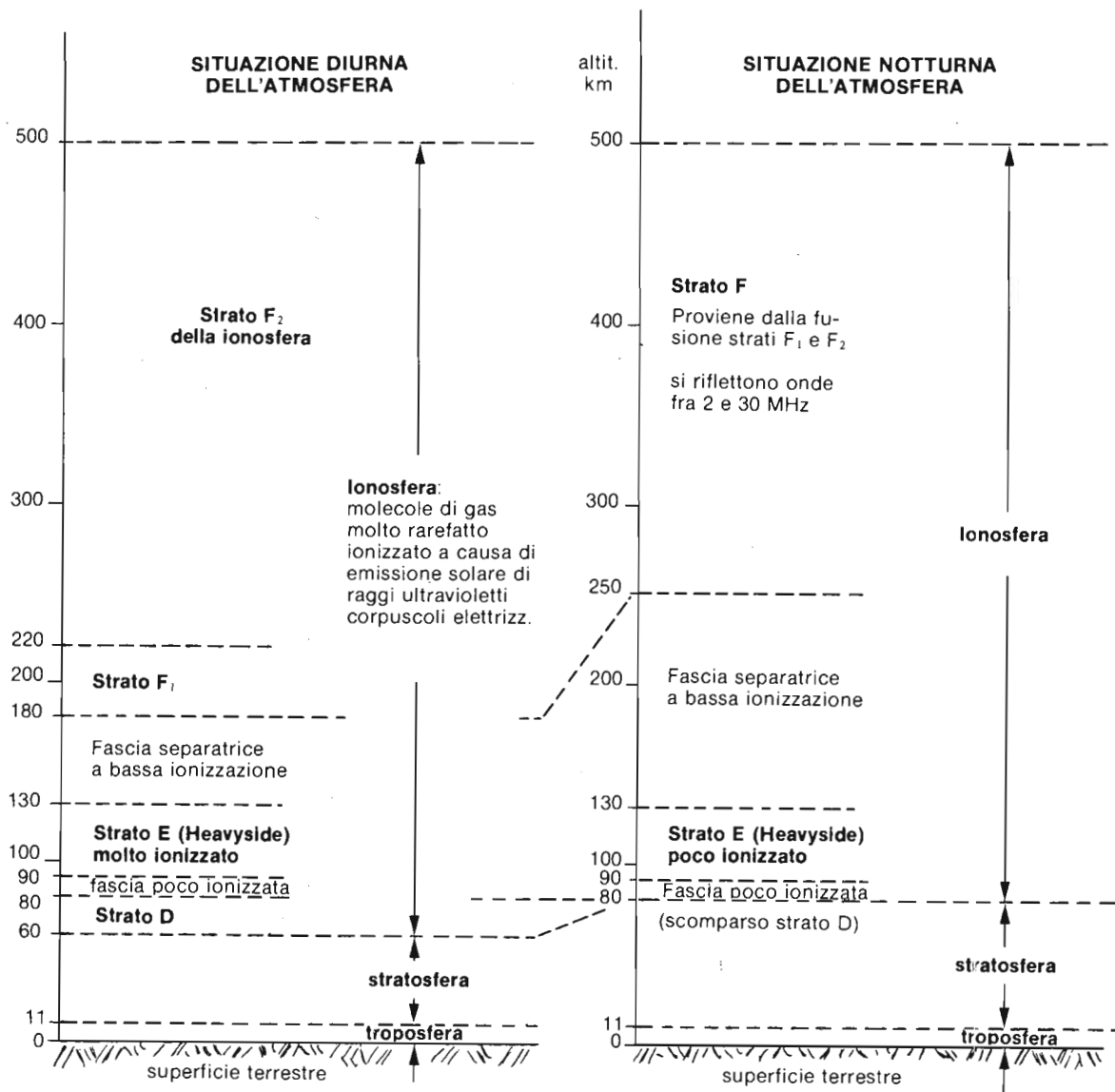
DIREZIONE DI PROPAGAZIONE E MEZZI ATTRAVERSABILI

Si dice che la luce, come ogni radiazione elettromagnetica, "viaggia in linea retta" per significare che il fronte di avanzamento dell'onda sferica è sempre concentrico rispetto al punto di emissione.

Questo va bene finchè le caratteristiche del mezzo di trasmissione si mantengono inalterate come succede nello spazio cosmico, ma già Einstein aveva previsto che il campo gravitazionale influenza la direzione di propagazione.

Inoltre la direzione di propagazione si modifica quando la radiazione si trova ad attraversare mezzi consistenti, ma comunque non conduttori, come l'acqua, il vetro ecc. (fenomeno della rifrazione).

Certe radiazioni infine, come le radioonde, non riescono ad attraversare i materiali conduttori, ma si lasciano riflettere.
In ogni caso, propagazione, riflessione o rifrazione non avvengono senza dispersione.

Vediamo, come è costituita elettricamente la struttura spaziale dei primi 500 km al disopra del suolo terrestre.

Fonti di informazione Mondani 2 pag. 401 Giometti 2 pag. 272 Jacobowitz EMS pag. 205

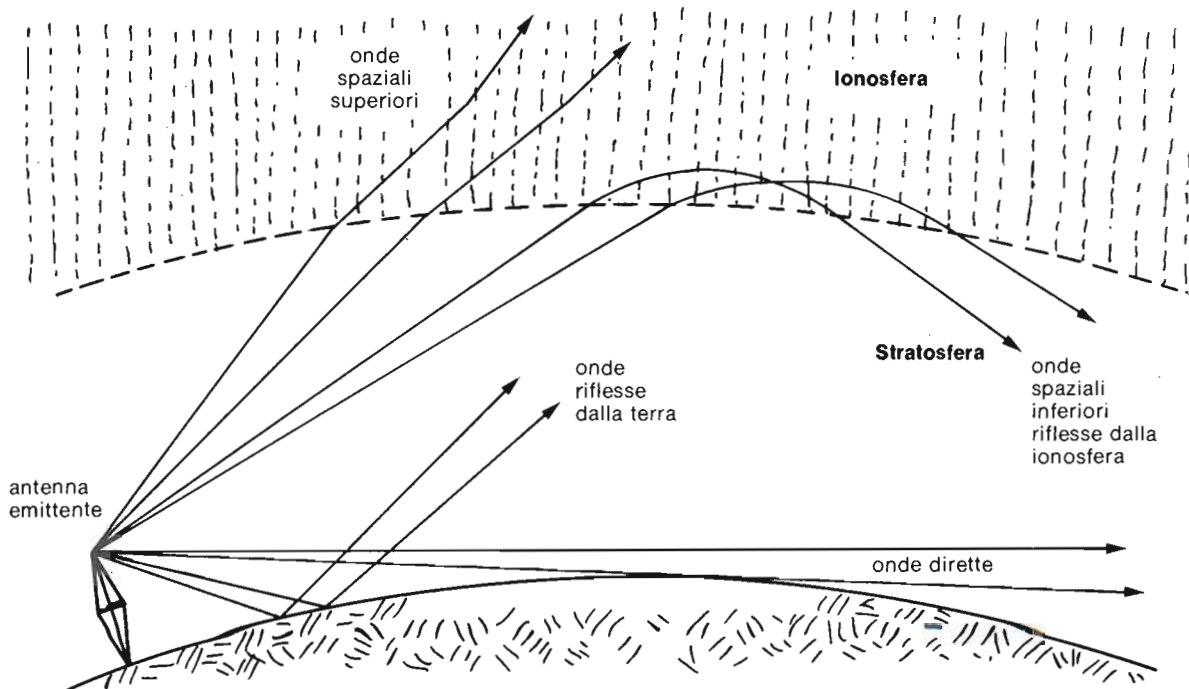
SUDDIVISIONE DELLE ONDE DI PROPAGAZIONE A SECONDA DEL LORO COMPORTAMENTO NELL'ATMOSFERA

Abbiamo già accennato nelle pagine precedenti di questo argomento, che una antenna normale, cioè sprovvista di dispositivi che privilegino una particolare direzione di propagazione, irradia in tutte le direzioni (propagazione sferica).
Ostacoli di natura atmosferica e terrestre, però, creano riflessioni e deviazioni (rifrazioni) che condizionano notevolmente la captazione delle onde irradiate, a seconda della direzione di propagazione.
Cercheremo di illustrare nella figura che segue l'influenza della superficie terrestre e della ionosfera nella propagazione delle onde elettromagnetiche.

Onde spaziali superiori

Al disopra di un certo angolo critico di elevazione, che dipende dalla frequenza dell'onda emessa, la direzione di propagazione non è riflessa dalla ionosfera e la radiazione prosegue nello spazio cosmico. Le onde con frequenza superiore ai 30 MHz proseguono in ogni caso, qualunque sia l'angolo di direzione.

Onde spaziali inferiori

Sono quelle la cui direzione di propagazione si trova al disotto dell'angolo critico e, a causa di continue rifrazioni, non riescono ad attraversare la ionosfera e vengono rimandate sulla terra.
Possono essere riflesse più volte fra suolo e ionosfera se non vengono assorbite dal suolo stesso.
L'innalzamento notturno della ionosfera diminuisce il numero di riflessioni consentendo una migliore ricezione a lunga distanza.

Onde riflesse dalla terra

Le onde di qualsiasi frequenza vengono riflesse dal suolo o, meglio, da montagne che in questo caso sono di notevole aiuto per la diffusione.
Queste onde si trovano sfasate di 180° rispetto alle corrispondenti dirette con le quali possono interferire ed annullarsi in certe zone, dove è perciò impossibile captare segnali di una data emittente.
Onde di frequenza inferiore ai 500 kHz vengono assorbite dalla terra e, non possono essere riflesse.

Onde dirette

Sono le onde captate "a vista dalla posizione dell'antenna ricevente".
Le onde al disopra dei 30 MHz non subiscono riflessioni e possono essere captate solo direttamente.

Onde superficiali

Non sono rappresentate in figura perchè seguono la superficie terrestre e anche la sua curvatura, se la loro energia non è eccessivamente assorbita dalla natura del suolo.
Si trasmettono bene onde di frequenza inferiore ai 500 kHz (onde medie e lunghe).

IRRADIAZIONE DELL'ENERGIA ACUSTICA

Anche l'energia acustica, pur avendo bisogno di un mezzo consistente, si propaga con le stesse leggi sferiche che abbiamo appena viste. L'orecchio umano ha dei limiti di percezione e di sopportazione che esamineremo in questo foglio.

Generalità

Poichè in elettronica si devono produrre anche segnali che siano intelligibili acusticamente, che non diano fastidio e che tanto meno siano dannosi all'organo dell'udito, è indispensabile conoscere le dimensioni energetiche di propagazione dell'energia acustica.

Per quanto concerne la propagazione sferica valgono ovviamente le stesse leggi di distribuzione viste precedentemente.

Vi sono però due fattori che intervengono a modificare le cose e che è indispensabile accennare anche se non è argomento di trattazione in questo foglio:

a) la potenza, globale dal fronte di propagazione si attenua a causa delle dispersioni dovute al mezzo di propagazione che in questo caso è consistente (aria, acqua, corpi solidi)
b) lo spazio di propagazione non è libero da ostacoli (pareti, oggetti, suolo) che possono costituire riflessioni che tendono ad aumentare la potenza specifica in alcune direzioni rispetto ad altre.

Limiti umani di percezione

Sono dati sperimentali molto importanti

Minimo La minima potenza acustica specifica mediamente percepibile dall'orecchio umano è, alla frequenza di 1000 Hz: $D_{min} = 10^{-12}\ W/m^2$

Massimo La massima potenza acustica specifica generalmente sopportabile dall'orecchio umano è, alla frequenza di 1000 Hz: $D_{max} = 100\ W/m^2$

Esempi

Per farci un'idea delle dimensioni del problema, calcoleremo le potenze minime e massime che le apparecchiature devono produrre acusticamente per essere ascoltate a varie distanze.

Si riprende, in funzione della distanza, la relazione della

potenza specifica (w/m²) del fronte di propagazior ⟶

$$D = \frac{P}{4\pi\, d^2}$$

⟵ potenza generata (w)

⟵ distanza (m) al quadrato dal generatore

superficie (m²) del fronte di propagazione in funzione della distanza del generatore
e la risolve rispetto alla potenza generata P che diventa funzione dei due limiti D e della distanza; cioè:

$$P = 4\pi\, D\, d^2$$

Ecco in tabella alcuni esempi:

distanza di ascolto metri	Potenza dell'apparecchiatura minima per essere udibile watt	Potenza dell'apparecchiatura massima per essere sopportabile watt
1	$1.256 \cdot 10^{-11}$	$1.256 \cdot 10^{3}$
10	$1.256 \cdot 10^{-9}$	$1.256 \cdot 10^{5}$
100	$1.256 \cdot 10^{-7}$	$1.256 \cdot 10^{7}$

VELOCITA' DI PROPAGAZIONE DELL'ENERGIA ACUSTICA

Il suono si trasmette meccanicamente in un mezzo consistente aeriforme, liquido o solido per fenomeni elasto-cinetici, cioè di scambio alternativo di energia potenziale di tipo elastico con energia di movimento molecolare a causa delle deformazioni elastiche dei materiali.

La velocità di propagazione dell'energia acustica dipende dalla natura dei materiali stessi e dalle loro caratteristiche fisiche (temperatura, densità ecc.).

Diamo qui sotto un elenco di valori.

Materiali	Condizioni fisiche pressione e temperatura	velocità di propagazione m/sec
Aria	760 mm. Hg e 0°C	331,4
Idrogeno	760 mm. Hg e 0°C	1270,0
Acqua	760 mm. Hg e 0°C	1500,0
Acciaio	25°C	5960
Vetro	25°C	3980

FREQUENZE, NOTE MUSICALI, LIMITI DI UDIBILITA'

Il diagramma sotto riportato riassume in sostanza che:

— le note musicali sono caratterizzate da una frequenza ben precisa per ciacuna
— le frequenze sono divise per ottave
— per ottava si intende l'intervallo di frequenze fra quella di un "do" e quella che possiede frequenza doppia che si chiama pure "do".
— la frequenza di ogni nota è doppia della medesima appartenente all'ottava inferiore
— per convenzione si è presa come "la" della 3ª ottava la frequenza di 440 Hz
— le altre note della medesima ottava sono caratterizzate da rapporti di frequenza semplici e rigorosamente stabiliti
— i limiti di udibilità in intensità sono da 0 dB (10^{-12} W/m^2), quale limite inferiore di percezione, fino a 140 dB (100 W/m^2), quale soglia del dolore, ma variano da individuo a individuo e dipendono anche dalla frequenza presa in esame
— l'udibilità in frequenza è compresa fra i 20 Hz e i 20 kHz
— le frequenze inferiori a 20 Hz si chiamano "infrasuoni" e le frequenze superiori a 20 kHz si chiamano "ultrasuoni".

Paragrafo 14.5

AMPLIFICAZIONE E ATTENUAZIONE

Indice degli argomenti e delle pagine

Fonti di informazione

AMPLIFICAZIONE E ATTENUAZIONE

Si studiano i valori dei rapporti fra potenza uscente e potenza entrante nei dispositivi elettronici.

Generalità

L'elettronica in generale si occupa di far pilotare dei servomeccanismi (altoparlanti, schermi televisivi, servomotori, telescriventi ecc.) da segnali comunque trasmessi (via cavo, circuiti interni, spazio ecc.).

I servomeccanismi però generalmente richiedono potenze molto superiori a quelle del segnale che li deve pilotare: è quindi necessario ricorrere ad una sorgente di energia (alimentatore) e ad un dispositivo (amplificatore, trasduttore, ecc.) che sia in grado di usare il segnale per manipolare l'energia proveniente dalla sorgente al fine di pilotare il servomeccanismo con la potenza che gli compete.

Questi trasduttori si chiamano attivi.

Vi sono trasduttori che manipolano il segnale (naturale o amplificato) senza richiedere intervento di energia dall'esterno (partitori, sfasatori, trasformatori ecc.).

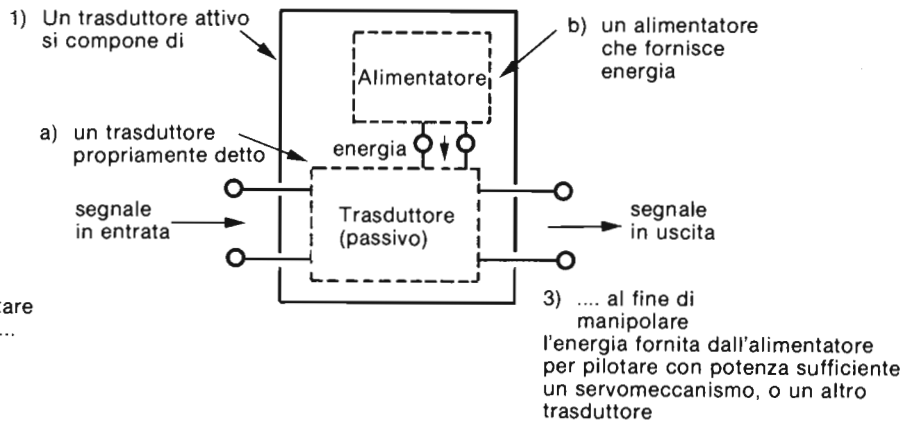
Nella migliore delle ipotesi questi trasduttori, che generalmente formano parte integrante dei circuiti, effettuano la manipolazione del segnale senza variazione di potenza, ma siccome sappiamo che ciò non è possibile, risulterà alla fine della manipolazione (uscita), una perdita di potenza rispetto all'entrata.

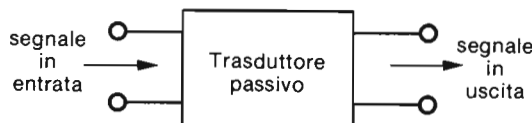
Questi trasduttori si chiamano passivi,

Trasduttori attivi

Riassumendo:

2) Esso è in grado di sfruttare il segnale in entrata.........

3) .... al fine di manipolare l'energia fornita dall'alimentatore per pilotare con potenza sufficiente un servomeccanismo, o un altro trasduttore

Trasduttori passivi

Riassumendo: in un trasduttore passivo non esistono sorgenti di energia

In esso il segnale in entrata viene manipolato senza apporto di energia e pertanto esso perde di potenza a causa delle inevitabili dispersioni.

Rapporti di potenze

Il rapporto

$$\frac{\text{potenza di uscita (watt)}}{\text{potenza di entrata (watt)}} \quad \text{diviso} \qquad \frac{Pu}{Pa} = A \quad \text{si chiama:}$$

amplificazione se esso è maggiore di 1 ($A > 1$) cioè quando la potenza di uscita è maggiore della potenza di entrata ($Pu > Pa$).

attenuazione se esso è minore di 1 ($A < 1$) cioè quando la potenza di uscita è minore della potenza di entrata ($Pu < Pa$).

GUADAGNO IL DECIBEL

Il confrontare potenze attraverso un semplice rapporto non accontenta il tecnico elettronico: egli preferisce concetti più complicati.

Il rapporto non è sufficiente: si preferisce il suo logaritmo.

Anzichè il semplice rapporto fra potenze per definire l'amplificazione o l'attenuazione, si preferisce prendere in considerazione

il **logaritmo decimale** di detto rapporto

guadagno (in bel) Simbolo B →

$$G = \log \frac{Pu}{Pe}$$

← **potenza di uscita (watt)**
← **potenza di entrata (watt)**

Il motivo di questa scelta pare legato ad un fenomeno psicologico relativo alla percezione uditiva di un segnale che passa come "legge psicofisica" di Weber e Fechner.

Il motivo per cui nell'era dei calcolatori questa notazione antiquata venga ancora largamente usata, resta avvolta nel più fitto mistero: non ho trovato autore che mi abbia soddisfatto questa curiosità.

Alcune particolarità

Poichè (14.51 — 1) $\frac{Pu}{Pe} = A$ avremo che $G = \log A$

(G: guadagno (in bel); log: logaritmo decimale; A: ampl. ÷ atten.)

Inoltre, a titolo di esempio, avremo il guadagno di **zero bel** quando la potenza di uscita è uguale alla potenza di entrata.

Infatti, poichè in questo caso l'amplificazione $A = 1$, si ha che $\log. 1 = 0$

Avremo ancora il guadagno di **1 bel** (1 B) quando sarà $A = 10$
Infatti $\log. 10 = 1$

Infine avremo il guadagno di —1 bel (— 1 B) quando sarà $A = 0{,}1$ (attenuazione). Infatti $\log. 0{,}1 = -1$

IL DECIBEL

Siccome il concetto non era ancora abbastanza complicato, è stato inventato il **decibel** (simbolo **dB**) millantando che il "bel" era una unità di misura troppo grande e costringeva i tecnici a trattare quindi con cifre troppo piccole!!!

Il decibel è la decima parte di un bel. Perciò
un bel 1 B = 10 dB dieci decibel, e
un decibel 1 dB = 0,1 B un decimo di bel.

Riassumendo, diamo la relazione che lega il decibel al rapporto fra potenze (amplificazione e attenuazione).

guadagno (in dB) →

$$G = 10 \log \frac{Pu}{Pe}$$

← potenza di uscita (watt)
← potenza di entrata (watt)

In (14.53) troverete le tavole comparative dei due sistemi di misura.

Alcune particolarità sul decibel

L'unica coincidenza numerica fra i due sistemi di misura si ha per

G = 10 dB che corrisponde ad A = 10

essendo $\log 10 = 1$ si ha

$$G_{dB} = 10 \log 10 = 10 \text{ dB}.$$

Fonti di informazione

GUADAGNO DI TENSIONE E DI CORRENTE

La potenza si può esprimere anche in funzione della tensione o in funzione della corrente.
In questo argomento esprimeremo il guadagno in funzione del rapporto fra tensioni o fra correnti in uscita e in entrata di un trasduttore.

Il decibel in funzione delle tensioni o delle correnti

La terza e finalmente ultima complicazione sta nel fatto che, quando dobbiamo esprimere in dB (decibel) un guadagno di tensione o di corrente **non possiamo** limitarci a fare il rapporto.

amplificazione di corrente

$A = \frac{I_u}{I_e}$ ← corrente di uscita (amp) / corrente di entrata (amp)

ma dobbiamo ricordarci, anche quando non ci serve, che quando si parla di **decibel** ci si riferisce sempre al logaritmo di un rapporto di potenze.

Essendo perciò (14.34-5) rispetto alla tensione

oppure (14.34-5) rispetto alla corrente

$P = ZI^2$

potenza (watt) apparente; corrente (amp) al quadr.; impedenza (ohm); guadagno di corrente (bel)

si avrà, considerando uguali fra loro le ammettenze di uscita e di entrata (per evitare una quarta complicazione):

guadagno di tensione (bel)

$$G_v = \frac{P_u}{P_e} = \log \frac{YV^2_u}{YV^2_e} = \log \left(\frac{V_u}{V_e}\right)^2 = 2 \log \frac{V_u}{V_e}$$

perciò, in decibel

guadagno di tensione (dB); tensione uscita (volt)

$$G_v \ \text{dB} = \mathbf{20 \log \frac{V_u}{V_e}}$$

20 volte il logaritmo decimale; tensione entrata (volt)

si avrà, considerando uguali fra loro le impedenze di uscita e di entrata (per evitare una quarta complicazione):

perciò, in decibel

NECESSITA' DI CONOSCENZA DEI LIVELLI ACUSTICI

Quando l'elettronica interessa quei segnali che devono essere percepiti dall'orecchio, è indispensabile conoscere i limiti di funzionamento di questo organo, in termini assoluti come potenza specifica (w/m^2) o relativi (dB)

Suono

Come è noto, il suono è energia prodotta da vibrazioni che si trasmettono attraverso l'aria, i gas, i liquidi e i solidi, e che vengono percepite dall'orecchio umano.

Limitazioni

L'orecchio umano ha le seguenti estreme limitazioni alla percezione:

frequenza: da 20 a 20.000 Hz (normalmente da 30 a 15.000 Hz)

potenza relativa: da 0 dB (limite di percezione) a 140 dB (soglia del dolore) (rispetto ad una minima potenza presa come riferimento) v. 14.43-1.

Livelli energetici in decibel

L'uso del decibel anche per definire misure assolute di livelli energetici in acustica è quanto mai improprio ed è fonte di notevoli perplessità per i neofiti.
Poichè il decibel è tipicamente una grandezza relativa e definisce una misura di confronto dato che dipende dal rapporto fra due grandezze, sentir dire che un certo suono viene percepito con l'intensità, ad esempio, di 20 dB, il minimo che ci si possa domandare è: "rispetto a che cosa?"

Limite di confronto

È necessario perciò determinare un limite di confronto.

Esso è stato stabilito, ed universalmente accettato, nel minimo livello energetico percepibile dall'orecchio umano (v.14.43-1).
Questo livello deve avere le dimensioni di una potenza specifica (w/m^2), ed ha il seguente valore.

grandezza di confronto per la misura dei livelli acustici $10^{-12}\ w/m^2$ cioè $1\ pw/m^2$

Questo limite è stato assunto come **livello 0** (zero) quando si vuole esprimere la potenza acustica in **decibel**.
Cioè, in altre parole, quando si parla di intensità acustica di 0 dB, significa un livello energetico della potenza specifica di $1\ pw/m^2$.

Limite massimo

Il limite massimo, inteso anche come "soglia del dolore" corrisponde statisticamente al livello di 140 dB.

Risolvendo in termini assoluti (14.51-2) questo livello corrisponde ad una potenza specifica 10^{14} volte quella di confronto (poichè 140 dB = 14 B), cioè

In altre parole, il livello massimo sopportabile è

$100\ w/m^2$

Tabella di confronto

dB	w/m^2
0	10^{-12}
10	10^{-11}
20	10^{-10}
30	10^{-9}
40	10^{-8}
50	10^{-7}
60	10^{-6}
70	10^{-5}
80	10^{-4}
90	10^{-3}
100	10^{-2}
110	10^{-1}
120	1
130	10
140	10^{2}

Avvertenze

A scanso di perplessità o di delusioni è indispensabile che le misure di un generatore acustico indichino a che distanza dal generatore esse sono state effettuate, se all'aperto senza pareti riflettenti, in locale chiuso afono oppure riverberante ecc.

Tabella di trasformazione da DECIBEL IN RAPPORTI

dB	Rapporti			
	Tensione e Corrente		Potenza	
	Ampl.	Atten.	Ampl.	Atten.
0.1	1.01	0.989	1.02	0.997
0.2	1.02	0.977	1.05	0.955
0.3	1.03	0.966	1.07	0.966
0.4	1.05	0.955	1.10	0.912
0.5	1.06	0.944	1.12	0.891
0.6	1.07	0.933	1.15	0.871
0.7	1.08	0.923	1.17	0.851
0.8	1.10	0.912	1.20	0.832
0.9	1.11	0.902	1.23	0.813
1.0	1.12	0.891	1.26	0.794
1.1	1.13	0.881	1.29	0.776
1.2	1.15	0.871	1.32	0.759
1.3	1.16	0.861	1.35	0.741
1.4	1.17	0.851	1.38	0.724
1.5	1.19	0.841	1.41	0.708
1.6	1.20	0.832	1.44	0.692
1.7	1.22	0.822	1.48	0.676
1.8	1.23	0.813	1.51	0.661
1.9	1.24	0.803	1.55	0.646
2.0	1.26	0.794	1.58	0.631
2.2	1.29	0.776	1.66	0.603
2.4	1.32	0.759	1.74	0.575
2.6	1.35	0.741	1.82	0.550
2.8	1.38	0.724	1.91	0.525
3.0	1.41	0.708	1.99	0.501
3.2	1.44	0.692	2.09	0.479
3.4	1.48	0.676	2.19	0.457
3.6	1.51	0.661	2.29	0.436
3.8	1.55	0.646	2.40	0.417
4.0	1.58	0.631	2.51	0.398
4.2	1.62	0.617	2.63	0.380
4.4	1.66	0.603	2.75	0.636
4.6	1.70	0.589	2.88	0.347
4.8	1.74	0.575	3.02	0.331
5.0	1.78	0.562	3.16	0.316
5.5	1.88	0.531	3.55	0.282
6.0	1.99	0.501	3.98	0.251
6.5	2.11	0.473	4.47	0.224
7.0	2.24	0.447	5.01	0.199
7.5	2.37	0.422	5.62	0.178

dB	Rapporti			
	Tensione e Corrente		Potenza	
	Amplific.	Attenuazione	Amplificazio.	Attenuazione
8.0	2.51	0.398	6.31	0.158
8.5	2.66	0.376	7.08	0.141
9.0	2.82	0.355	7.94	0.126
9.5	2.98	0.335	8.91	0.112
10.0	3.16	0.316	10.00	0.100
11.0	3.55	0.282	12.6	0.079
12.0	3.98	0.251	15.8	0.063
13.0	4.47	0.224	19.9	0.050
14.0	5.01	0.199	25.1	0.040
15.0	5.62	0.178	31.6	0.032
16.0	6.31	0.158	39.8	0.025
17.0	7.08	0.141	50.1	0.020
18.0	7.94	0.126	63.1	0.016
19.0	8.91	0.112	79.4	0.013
20.0	10.00	0.100	100.0	0.010
25.0	17.8	0.056	3.16×10^{2}	3.16×10^{-2}
30.0	31.6	0.032	10^{3}	10^{-3}
35.0	56.2	0.018	3.16×10^{3}	3.16×10^{-4}
40.0	100.0	0.010	3.16×10^{2}	3.16×10^{-2}
45.0	177.8	0.006	3.16×10^{4}	3.16×10^{-5}
50.0	316	0.003	10^{5}	10^{-5}
55.0	562	0.002	3.16×10^{5}	3.16×10^{-6}
60.0	1,000	0.001	10^{6}	10^{-6}
65.0	1,780	0.0006	3.16×10^{6}	3.16×10^{-7}
70.0	3,160	0.0003	10^{7}	10^{-7}
75.0	5,620	0.0002	3.16×10^{7}	3.16×10^{-8}
80.0	10,000	0.0001	10^{8}	10^{-8}
85.0	17,800	0.00006	3.16×10^{8}	3.16×10^{-8}
90.0	31,600	0.00003	10^{9}	10^{-9}
95.0	56,200	0.00002	3.16×10^{9}	10^{-10}
100.0	100,000	0.00001	10^{10}	10^{-10}
105.0	178,000	0.000006	3.16×10^{10}	3.16×10^{-10}
110.0	316,000	0.000003	10^{11}	10^{-11}
115.0	562,000	0.000002	3.16×10^{11}	3.16×10^{-12}
120.0	1,000,000	0.000001	10^{12}	
130.0	3.16×10^{6}	3.16×10^{-7}	10^{13}	10^{-14}
140.0	10^{7}	10^{-7}	10^{14}	10^{-14}
150.0	3.16×10^{7}	3.16×10^{-8}	10^{15}	10^{-15}
160.0	10^{8}	10^{-8}	10^{16}	10^{-16}
170.0	3.16×10^{8}	3.16×10^{-9}	10^{17}	10^{-17}

Avvertenze:

Il rapporto in amplificazione si intende per valori positivi di dB.
Il rapporto in attenuazione si intende per valori negativi di dB.

Fonti di Informazione Terman R.E. Risvolto posteriore di copertina.

Tabella di trasformazione di RAPPORTI IN DECIBEL

Rapporto	dB equivalente	
	Potenza	Tensione o Corrente
0.01	— 20.00	— 40.00
0.02	— 16.99	— 33.98
0.03	— 15.23	— 30.46
0.04	— 13.98	— 27.96
0.05	— 13.01	— 26.02
0.06	— 12.22	— 24.44
0.07	— 11.55	— 23.10
0.08	— 10.97	— 21.94
0.09	— 10.46	— 20.92
0.10	— 10.00	— 20.00
0.11	— 9.59	— 19.17
0.12	— 9.21	— 18.42
0.13	— 8.86	— 17.72
0.14	— 8.54	— 17.08
0.15	— 8.24	— 16.48
0.16	— 7.96	— 15.92
0.17	— 7.70	— 15.39
0.18	— 7.45	— 14.90
0.19	— 7.21	— 14.42
0.20	— 6.99	— 13.98
0.22	— 6.58	— 13.15
0.24	— 6.20	— 12.40
0.26	— 5.85	— 11.70
0.28	— 5.53	— 11.06
0.30	— 5.23	— 10.46
0.32	— 4.95	— 9.90
0.34	— 4.69	— 9.37
0.36	— 4.44	— 8.88
0.38	— 4.20	— 8.40
0.40	— 3.98	— 7.96
0.42	— 3.77	— 7.53
0.44	— 3.57	— 7.13
0.46	— 3.37	— 6.74
0.48	— 3.19	— 6.38
0.50	— 3.01	— 6.02
0.55	— 2.60	— 5.19
0.60	— 2.22	— 4.44
0.65	— 1.87	— 3.74
0.70	— 1.55	— 3.10
0.75	— 1.25	— 2.50

Rapporto	dB equivalente	
	Potenza	Tensione o Corrente
0.80	— 0.97	— 1.94
0.85	— 0.71	— 1.41
0.90	— 0.46	— 0.92
0.95	— 0.22	— 0.45
1.00	0.00	0.00
1.10	0.41	0.83
1.20	0.79	1.58
1.30	1.14	2.28
1.40	1.46	2.92
1.50	1.76	3.52
1.60	2.04	4.08
1.70	2.30	4.61
1.80	2.55	5.11
1.90	2.79	5.58
2.00	3.01	6.02
2.20	3.42	6.85
2.40	3.80	7.60
2.60	4.15	8.30
2.80	4.47	8.94
3.00	4.77	9.54
3.20	5.05	10.10
3.40	5.32	10.63
3.60	5.56	11.13
3.80	5.80	11.60
4.00	6.02	12.04
4.20	6.23	12.46
4.40	6.43	12.87
4.60	6.63	13.26
4.80	6.81	13.62
5.00	6.99	13.98
5.50	7.40	14.81
6.00	7.78	15.56
6.50	8.13	16.26
7.00	8.45	16.90
7.50	8.75	17.50
8.00	9.03	18.06
8.50	9.29	18.59
9.00	9.54	19.08
9.50	9.78	19.55
10.00	10.00	20.00

Rapporto	dB equivalente	
	Potenza	Tensione o Corrente
11.0	10.41	20.83
12.0	10.79	21.58
13.0	11.14	22.28
14.0	11.46	22.92
15.0	11.76	23.52
16.0	12.04	24.08
17.0	12.30	24.61
18.0	12.55	25.11
19.0	12.79	25.58
20.0	13.01	26.02
22.0	13.42	26.85
24.0	13.80	27.60
26.0	14.15	28.30
28.0	14.47	28.94
30.0	14.77	29.54
32.0	15.05	30.10
34.0	15.32	30.63
36.0	15.56	31.13
38.0	15.80	31.60
40.0	16.02	32.04
42.0	16.23	32.46
44.0	16.43	32.87
46.0	16.63	33.26
48.0	16.81	33.63
50.0	16.99	33.98
55.0	17.40	34.81
60.0	17.78	35.56
65.0	18.13	36.26
70.0	18.45	36.90
75.0	18.75	37.50
80.0	19.03	38.06
85.0	19.29	38.59
90.0	19.54	39.08
95.0	19.78	39.55
100.0	20.00	40.00
10^3	30.00	60.00
10^4	40.00	80.00
10^5	50.00	100.00
10^6	60.00	120.00
10^7	70.00	140.00

Avvertenza:

Per quei valori che non compaiono nella presente tabella si può sfruttare la seguente proprietà:
la moltiplicazione del rapporto per 10^n corrispondente alla aggiunta al corrispondente valore in decibel
di 10 n per i rapporti in potenza
di 20 n per i rapporti in tensione e corrente.

Esempio
Un rapporto di tensione di 2200 corrisponde a 26,85 + 40 = 66,85 dB
Un rapporto di potenza di 2200 corrisponde a 13,42 + 20 = 33,42 dB
e ancora un rapporto di potenza 0,22 . 10^{-3} corrispondente a — 6,58 — 30 = — 36,58 dB.

Fonti di informazione Terman R.E. Risvolto posteriore di copertina.

LIBRERIA JCE

273 Circuiti
"273 circuiti" è una raccolta di schemi per il tecnico di laboratorio e l'hobbista di elettronica. I circuiti sono tutti molto semplici e facili da realizzare. Ve n'è per tutti i gusti: per uso domestico, per autovetture, per i fissati dell'audio, per giocatori inveterati, per gli ossessionati dalle misure e dagli alimentatori, per gli appassionati di fotografia o di modellismo ecc.
Cod. 6014
L. 12.500 *(Abb. L. 11.250)*

Le Radiocomunicazioni
Ciò che si deve sapere sulla propagazione e ricezione delle onde em, sulle interferenze reali od immaginarie, sui radiodisturbi e loro eliminazione, sulle comunicazioni extra-terrestri ecc.
Cod. 7001
L. 7.500 *(Abb. L. 6.750)*

Costruiamo un Microelaboratore Elettronico
Per comprendere con naturalezza la filosofia dei moderni microelaboratori e imparare a programmare quasi senza accorgersene.
Cod. 3000
L. 4.000 *(Abb. L. 3.600)*

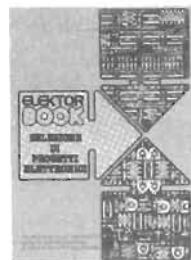
300 Circuiti
Il libro propone una moltitudine di progetti dal più semplice al più sofisticato con particolare riferimento a circuiti per applicazioni domestiche, audio, di misura, giochi elettronici, radio, modellismo, auto e hobby.
Cod. 6009
L. 12.500 *(Abb. L. 11.250)*

Manuale di Sostituzione dei Transistori Giapponesi
Il libro raccoglie circa 3000 equivalenze fra transistori giapponesi.
Cod. 6005
L. 5.000 *(Abb. L. 4.500)*

Tabelle Equivalenze Semiconduttori e Tubi Elettronici Professionali
Equivalenti Siemens di transistori, diodi, led, tubi elettronici professionali e vidicons.
Cod. 6006
L. 5.000 *(Abb. 4.500)*

Manuale pratico del Riparatore Radio TV
Il libro frutto dell'esperienza dell'autore maturata in oltre due decenni di attività come teleriparatore, è stato redatto in forma piana e sintetica per una facile consultazione.
Cod. 701P
L. 18.500 *(Abb. L. 16.650)*

Audio & HI-FI
Una preziosa guida per chi vuole conoscere tutto sull'HI-FI.
Cod. 703D
L. 6.000 *(Abb. L. 5.400)*

Selezione di Progetti Elettronici
Una selezione di interessanti progetti pubblicati sulla rivista "Elektor". Ciò che costituisce il "trait d'union" tra le varie realizzazioni proposte e la varietà d'applicazione, l'affidabilità di funzionamento, la facilità di realizzazione, nonchè l'elevato contenuto didattico.
Cod. 6008
L. 9.000 *(Abb. L. 8.100)*

30 Programmi Basic per lo ZX 80
Programmi pronti all'uso che si rivolgono soprattutto ai non programmatori, quale valido ausilio didattico, nonchè prima implementazione del BASIC studiato, ma che possono essere, da parte dei più esperti, anche base di partenza per ulteriori elaborazioni.
Cod. 5000
L. 3.000 *(Abb. L. 2.700)*

Accessori per Autoveicoli
Dall'amplificatore per autoradio, all'antifurto, dall'accensione elettronica, al plurilampeggiatore di sosta, dal temporizzatore per tergicristallo ad altri ancora.
Cod. 8003
L. 6.000 *(Abb. L. 5.400)*

TTL IC Cross - Reference Manual
Il prontuario fornisce le equivalenze, le caratteristiche elettriche e meccaniche di pressochè tutti gli integrati TTL sinora prodotti dalle principali case mondiali, comprese quelle giapponesi.
Cod. 6010
L. 20.000 *(Abb. L. 18.000)*

Le Luci Psichedeliche
Il libro descrive apparecchi psichedelici provati e collaudati, realizzazione di generatori psichedelici sino a 6 kW, flash elettronici, luci rotanti etc.
Cod. 8002
L. 4.500 *(Abb. L. 4.050)*

Junior Computer Vol 1-Vol 2
Junior Computer è il microelaboratore da autocostruire su un unico circuito stampato. Il sistema base e questi libri sono l'occorrente per l'apprendimento. Prossimamente verranno pubblicati altri volumi relativi all'espandibilità del sistema.
Cod. 3001
L. 11.000 *(Abb. L. 9.900)*
Cod. 3002
L. 14.500 *(Abb. L. 11.650)*

Alla Ricerca dei Tesori
Il primo manuale edito in Italia che tratta la prospezione elettronica. Il libro, in oltre 110 pagine ampiamente illustrate spiega tutti i misteri di questo hobby affascinante. Dai criteri di scelta dei rivelatori, agli approcci necessari per effettuare le ricerche.
Cod. 8001
L. 6.000 *(Abb. L. 5.400)*

Il Moderno Laboratorio Elettronico
Autocostruzione di tutti gli strumenti fondamentali; alimentatori stabilizzati, multimetri digitali, generatori sinusoidali ed a onda quadra, iniettore di segnali, provatransistor, wattmetri e millivoltmetri.
Cod. 8004
L. 6.000 *(Abb. 5.400)*

TV Service 100 riparazioni TV illustrate e commentate
Dalle migliaia di riparazioni che si effettuano in un moderno laboratorio TV, sono assai poche quelle che si discostano dalla normale "routine" e sono davvero gratificanti per il tecnico appassionato. Cento di queste "perle" sono state raccolte in questo libro e proposte all'attenzione di chiunque svolga per hobby o per mestiere il servizio di Assistenza TV.
Cod. 7000
L. 10.000 *(Abb. L. 9.000)*

Digit 1
Il libro mira a insegnare i concetti fondamentali di elettronica con spiegazioni semplici. Esperimenti pratici utilizzanti una piastra sperimentale a circuito stampato consentono un'introduzione graduale all'elettronica digitale.
Cod. 2000
L. 7.000 *(Abb. L. 6.300)*

Digit 2
Prosieguo naturale del Digit 1, il libro presenta oltre 500 circuiti: dal frequenzimetro al generatore di onde sinusoidali - triangolari - rettangolari; dall'impianto semaforico alla pistola luminosa.
Cod. 6011
L. 6.000 *(Abb. L. 5.400)*

Guida alla Sostituzione dei Semiconduttori nei TVC
Equivalenze di semiconduttori impiegati su 1200 modelli di televisori di 47 fabbricanti diversi.
Cod. 6112
L. 2.000 *(Abb. L. 1.800)*

Transistor Cross-Reference Guide
Circa 5.000 equivalenze fra transistori europei, americani e giapponesi, con i relativi parametri elettrici e meccanici.
Cod. 6007
L. 8.000 *(Abb. L. 7.200)*

SCONTO 10%
agli abbonati

Per ordinare i volumi usare l'apposito tagliando inserito nella pagina precedente.